

面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

新编地图学教程

蔡孟裔　毛赞猷　田德森　周占鳌　编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

新编地图学教程

蔡孟裔　毛赞猷　田德森　周占鳌　编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部"高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划"的研究成果，是面向21世纪课程教材。全书计10章，主要内容包括地图学导论、地图的数学基础、地图概括、地图符号、地图表示、地图图型、遥感制图、数字地图制图、地理信息系统与地图、地图复制。教材以现代地图学理论为主线，以建立地图学整体知识基础为目的，力图从思维过程和自学方法上启发学生。教材注重原理的讲述，而将部分实践性较强的技能性知识，安排在与本书配套的实习教材中。书中不但插图、实例丰富，还将为教材配以含大量地图作品样例的CAI光盘。适用于地理、测量、土地、矿业等专业作教材及相关专业人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

新编地图学教程/蔡孟裔等编著.—北京：高等教育出版社，2000

ISBN 7-04-007263-7

Ⅰ.新…　Ⅱ.蔡…　Ⅲ.地图学-教材　Ⅳ.P28

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第18146号

新编地图学教程

蔡孟裔　毛赞猷　田德森　周占鳌　编著

出版发行　高等教育出版社

社　　址　北京市东城区沙滩后街55号　　邮政编码　100009

电　　话　010-64054588　　传　　真　010-64014048

网　　址　http://www.hep.edu.cn

经　　销　新华书店北京发行所

印　　刷　国防工业出版社印刷厂

纸张供应　山东高唐纸业集团总公司

开　　本　787×960　1/16　　版　　次　2000年6月第1版

印　　张　22　　印　　次　2000年6月第1次印刷

字　　数　400 000　　定　　价　21.40元

插　　页　9

序　一

这是面向二十一世纪,我国高校地学课程中首批问世的新教材之一。针对地图学是一门高等院校地学专业的基础课,又是一门校能性质的工具课,本教材由偏重理论的地图学原理性质的内容和理论结合实际的偏重操作性质的实习指导内容两大部分组成,各自成册,配合使用。

地图是运用图形符号来记载和传输地理信息的特种文化工具。地图在人类生活中的重要作用,只要摘录两段汉译《地理学思想史》中的话就一清二楚了。"当你要去创立一种太大的,大到不便于观察的一个世界的意象时,这就得要进行概括,选择某些特征,把它们织造到这个形象中去,并扬弃那些无关的特征。""除非你能回答它在哪里这个问题,否则即使你把人的世界描述得怎样清楚,也是没有多大价值的。"[注]

要回答世界上各种信息的地理位置,如何造择、概括和组织你所需要的信息,并从读者的视感效果的角度形成表示在相应地理位置上的地图符号系统,这些就是地图学理论的核心问题。此外,地图的编辑及复制等校术问题,更是现代化的科学校术渗透到地图编制后的新技术制图方法,也是必须向学生介绍并使他们熟悉和掌握的,这些就是这门课程中的主要组成内容。

在目前的情势下,这份教材具有很大的优越性,因为作者们在参阅了很多国际先进国家的相应资料的基础上,考虑并结合了我国绝大多数高校的设置和师资等具体状况,现做了握大的创新,又力图避免脱离实际的困难,经造了反复讨论和修改后定稿的。可以认为它是目前比校有特色的一本地困学教程,亦就是说它针对了国内的教学实际,是面向现代化的。因为运动着的世界是随着时间不新地现代化而

[注] 《地理学思想史》(汉译世界学术名著丛书) [美] 普雷斯顿·詹姆斯,杰弗雷·马丁著　李旭旦译　北京:商务印书馆,1989年,1~2页,7~8页。

形成了进步与发展的长河。

我们为面向二十一世纪地学领域中首批新教材的问世而欢欣鼓舞。在广大高校师生的实际应用中,必然会有助于这份教材的改进和更加完好。

陆渝蓉

1998 年秋

序　二

地图作为人类形象思维的一种方式，地理学的第二语言，源远流长又方兴未艾。目前，这门学科在大学主要在地球科学的有关系科开设；但是愈来愈引起了社会科学、环境科学、空间科学的兴起。国际关系、经济贸易、海洋经济管辖区的划分、远洋渔业与国际航空、旅游的营运、城市交通管理……。种种与人类生存空间有关的问题，国家区域开发战略的制订，人口、资源与环境的宏观管理与调控，国防安全保障，都需要借助于地图作为直观的文化工具。地图随时随地都出现在我们的生产、生活与交往之中。地图学可以说是素质教育中不可缺少的内容。

地图是很古老的学问，保存至今的地图，在埃及及巴比伦已经5 500年，在中国也有2 200年。人类大约用了2 000年的时间，才大体搞清楚地球上海陆的轮廓。又花费了300年才测绘出陆地的30%。20世纪上半叶，航空摄影测量只用了50年的时间，就测绘了陆地的70%。而20世纪下半叶，通过卫星遥感、全球定位系统、地理信息系统和卫星通讯网络等一系列高新技术的进步，彻底地改变了地图的生产过程。“奋进号”载人航天飞船只用11天的时间就获取了覆盖全球80%的图像数据，重新改组地图生产机构和作业方式，两年之间成图。我国气象资源卫星、载人飞船均已发射成功，国内外的信息资源极大丰富，网络传输十分方便，地图的基本常识和技能，对于许多行业来说，都更加需要。无论你将来准备作军事家、外交家、科学家、工程师、旅行家，最好不是“图盲”。

这部《新编地图学教程》，是按教育部的教材规划由四位著名大学的地图学教授合作编写的。他们都有10年以上的教学经验和科研实践。他们深知作为教材，必须传播最最基础的地图学知识，而又尽最大可能减轻同学的负担。教材注重原理阐述，技能练习另册付印，CAI光盘可供参考。本书编写大纲曾经反复征求了同行学者的意见，又经

过作者深思熟虑，为适应21世纪信息社会的需要和高速发展的知识经济的浪潮，浓缩、精练了教材的内容，让读者付出最少的时间和精力，能够掌握地图学的精髓。这是十分成功的和难能可贵、令人敬佩的。

陈述彭

2000年3月20日

前　言

本教材是教育部高等学校地理学教学指导委员会与高等教育出版社共同确定的“九五”地理学教材建设规划中，“面向21世纪课程教材”之一。是供我国综合性大学和高等师范院校地学有关专业，在开设“地图学”课程时使用的教材。

当前正处于“世纪之交”。这就要求我们编写的教材具有时代特征和改革的风貌，以丰富、充实地理学面向21世纪的课程体系，培养出建设事业所需要的优秀人才。与此同时，还要求我们能认真回顾与总结近年来国内外地图学发展及众多地图学教材编写的经验和地图学教与学两方面的认知规律。

地图学是我国高等院校地学各专业的一门专业基础课，开设的面相当广泛。地图学既是一门综合性学科，又是一门技术性很强的应用性学科。因此，地图学无论在过去，还是在进行重大改革的今天，都在各相关专业的课程体系中占有不可替代的地位。近十余年来，不少高新技术在地图学中的渗入及应用，已经在地图学的学科领域内，涌现了许多富有生命力的新理论，产生许多已完全改变过去生产工艺的新技术、新方法。这些新的理论、技术、方法，改变与扩大了地图学的应用领域，改变了我们对地图学中许多具体问题的思维方式。

正因为此，为了适应教学改革不断深入发展的需要，具体地说，为了更好地突出地图学专业基础课的特点，面向广阔与日益更新的应用领域，反映地图学的各项新成果，培养新世纪人才的能力与素质，编写一本新的地图学教材势在必行。

我们编写教材的指导思想，概要地说有以下几方面：

1. 努力站在跨世纪的高度，介绍地图学领域的新概念、新技术、新方法、新理论。

地图学领域在最近十几年来取得了很多新成果，这一点，作为在这个领域中工作的同行，都深有感触。这种新成果的取得，一方面是地图学学科发展的结果，另一方面也受到了相关学科的影响、介入。例如计算机技术进入地图领域，在我国也已有30多年，但是，真正使地图学改变面貌，包括从地图的实测、编制，直至本学科的各个分支，包括从理论与实践各个方面，那还是近十年的事情。现在，无论是测量仪器，还是进行各类地图的量算及应用分析，或者进行编制各种比例尺的普通地图、专题地图，如果完全脱离计算机，无论在质量、工时、效益上将是完全落后于时代潮流的。又比如航天遥感技术，20世纪70年代引入我国，

经历了初期发展阶段后，真正起到规模效应，并且和航空遥感一起，成为地图编制重要的数据源以及新的编图方法，也是20世纪80年代以后的事。所有这些，在即将跨入新的世纪之前，当然有必要在教材中较好地予以反映，使我们所培养的学生，能在新的概念和理论的武装下步入21世纪。

我们对这些新内容的处理，有的是比较宏观地从体系上反映，有的则是通过具体的概念和方法进行阐述。

例如对“地图信息”，不只是在教材中作为一个名词而加以引用，而是从指导思想上贯串于全教材之中。这可以表现在对“地图”的定义、对地图三个基本特性的描述，以及教材中不少章节多次提到的关于地理信息的获取、存贮、处理、分析的内容得到体现，还可以从教材专门安排了“遥感制图”、“数字地图制图”、“地理信息系统与地图”等有关章节进行系统阐述而得到充分体现。

又如教材从“空间数据是地图概括的基础”这一概念出发，引入了“数据质量是地图概括制约因素之一”的观点。

在地图的分类中，除了传统的分类外，把按地图的可视化状况、瞬时状态、维数等作为分类指标。

对新技术、新方法的阐述，比较集中于计算机技术在地图学的全面应用。这除了反映在第八、第九两章外，还可以在教材的每一章内容中得到体现。例如地图投影的转换，这本来是传统的数学方法中比较复杂的内容，但现在实际上已经被计算机程序化了，在一些通用程度较好的地理信息系统软件中，都具有地图投影选择和变换功能；符号设计中动态符号的设计；运用计算机进行普通地图以及各种类型专题地图的编制；电子地图及多媒体电子地图；采取地理信息系统方法进行地图分析与应用；一向被认为是制图自动化的“瓶颈”——地图概括等，在借助地图数据库及地理信息系统的技术方法后，有了进一步发展。所有这些计算机技术在地图学中的应用，都在教材中占据了相当重要的地位，成为本教材一个十分显著的特色。

对于地图学理论的阐述，不仅表现在有的教材已经采取的那样，比较集中、概略地介绍若干主要理论，例如信息传递理论、地图信息论、地图模型论、地图感受论、综合制图理论等。除此以外，还概略地介绍了符号学及地理信息学(Geomatics)。更为重要的是，教材中不少章节，已经把这些理论作为阐述概念、分析问题的基础与核心。也就是说，已经对这些新的理论用于地图实践做了初步尝试。例如对符号的提法，就不再是单纯地介绍各种点、线、面符号的类型、特色与制作，而是以视觉变量作为符号的基础，以量表分类引入符号设计，以格式塔理论引入符号的感受效果，以蒙赛尔色表系统引入符号的色彩设计。

2. 处理好地图学传统知识与现代知识的衔接。

地图学的发展历史悠久，长期的积累所形成的地图学知识宝库相当丰富，一

门学科的发展又是前后继承及相通的，不可能跳跃或中途被割断。地图学学科发展的现状，就是既存在大量传统的、经典的内容，也存在大量新兴的、现代的知识。努力处理好这两者的关系，也是我们编写本教材的一个基本指导思想。

这种衔接关系的处理，可以反映在三个方面：

(1) 选择、组织好传统的教学内容。传统教材中有许多内容，现在仍然是必要的，但由于学科发展了，需要注入新的思想，以新的视角为基点、新的理论作为指导、采用新的技术与方法、形成新的概念。例如地图的许多基本功能没有变，这正是地图能在经历几千年的发展而长盛不衰的基础。但从怎样的角度进行重新归纳？除了从地图所特有的认识功能外，还可以从模型论的观点提出地图具有模拟功能；从信息传输的观点提出地图具有信息的载负和传输功能。对于地图概括，过去的提法是：图形是现实客体的缩小，因此不可能把客观事物一成不变地全部反映到地图上。这是完全正确的理解。但现在对为什么必须进行地图概括，是因为地图是客观存在的形象模型与符号，需要运用思维能力，并通过符号和图形对客观存在进行简化和抽象，这就是概括。这样提法就可以为以后再提图形的数学模型及数字模型打下基础。同样，还举地图概括的例子：教材采纳了国外 20 世纪 90 年代地图学教材中的观点，在制约地图概括的因素中，引入数据质量、图解限制两个因素；在地图概括的方法上，提出了分类、简化、夸张、符号化四类，使概括的方法更为科学、实用。

我们认为，只有站在学科的前沿，从更高的视角去组织教材，才有可能引导与启发学生有更活跃的思维，跟上时代的步伐，促进地图学理论及学科的进一步发展。

(2) 不少传统、经典的知识，是现代地图知识的基础。也就是说，地图学的基本知识，不管今后的技术、方法会有多大发展，也不管有些概念是否会发生新的变化，具有新的意义，但这些传统、经典的知识是必不可少的，本教材应给予足够的重视，进行比较系统的阐述。以什么叫“地图”为例，我们可以有新的定义，引入新的概念，但不论我们所指的地图的形式是怎样的，却仍然必须具有几个最基本的特性；又如地图投影，尽管现在运用了计算机，可以很方便地进行显示及变换，但概略地了解一些基本概念及基本公式还是必须的，否则以后讨论到投影的应用、变换等都将会变得无法理解；又如专题地图设计，更是一个典型的例子。现在，当然完全可以通过计算机进行地理底图的制作，进行符号、色彩、注记的设计，进行图例及图面配置的设计。但是，专题地图设计中关于资料处理及分析的方法，专题符号的特性及色彩运用的基本原则，图面及图例配置的基本方法及原则，仍然是每个地图设计人员所必须熟练掌握的。否则，就无法解释为什么仅仅熟谙计算机操作的人员，却无法设计与编制出一幅符合科学性、实用性、艺术性相结合的合格的专题地图。

因此,只有处理好地图基础知识与先进的制图技术的关系,才能更好地认识计算机技术在地图学中的作用。

(3) 地图学的某些传统知识目前正处于新、老交替的过渡时期,也就是说,在目前的知识结构、生产过程中,这些知识仍然有其地位。但由于科学技术的发展,这些知识正在或有可能在以后遭到淘汰。对于这些内容,有不少已不再写入本教材,但有一些在本教材中仍要予以程度不等的保留,这也是学科具有延续性的需要。

例如:地图的数学基础,本书仍侧重从传统的分类方法进行介绍;地图编制及复制的概念与方法,尽管现在已经普遍使用计算机编制后直接输出制版软片的方法,同时也没有必要把地图的编制过程分为普通地图与专题地图来阐述。但由于这些内容中,有些概念仍需要了解,有些地区仍在利用原有设备及采用传统工艺进行复制地图的生产,因此对这一部分内容,在目前仍需要按传统的知识结构及体系给予适当的介绍。

3. 把握好教材的性质及目的、任务。

本教材是专业基础课的教材,按照编写的要求,应该具有较广泛的适应性,也就是可以为综合性大学、高等师范院校及地学有关专业采用。这种在使用对象上的多层次,为编写教材提出了更高的要求,需要考虑内容上的多层次,以及在授课的年级、安排时数上的有一定选择余地。这主要通过体系的逻辑层次、字体的区别、辅读内容的选取、适量的插图安排以区分主次,列出"本章提要"、"复习思考题"等方式来达到,处理好学科体系与课程体系之间的关系,满足多方面对本教材的要求。此外,各院校的主讲教师精心组织教学内容及采用符合实际的教学方法,也将是十分重要、必不可少的。

作为专业基础课教材,其主要和直接的使用目的及任务,应当是系统传授先进、实用的地图学知识与技能,为后续课程服务,而作为这一目的有机而必要的延伸,培养学生具有时代精神及从事科学研究的素质,也应当是重要的。后者是通过前者具体体现的,因此必须具有地图学的专业内涵。地图学与许多学科有着广泛而紧密的联系,除了地学本身的专业知识以及计算机及遥感技术外,美学、心理学,甚至哲学、数学等也是至关重要的。要学好地图学,就必须学会扩大自己的知识面。同时,地图学也十分强调动手与动脑,单靠死记硬背是根本无法学好地图学、掌握地图学精髓的。所以,本教材做了相应的处理:一方面,在本书中更着重从地图学所必须的专业基础知识及基本原理来组织教材的体系及内容;另一方面,把一些具有很强应用性的知识与技能,如投影转换、地图分析、地形图的量算、地图设计、计算机制图等,都集中在与本书相配套的《新编地图学实习教程》中加以系统阐述,以期使学生通过具体的实践,获得能力的提高,求得对地图学更深的理解和掌握。教材中有些知识,初看似乎过于专业化,但实际上,

不仅是为了传授更多知识以及满足教材必要的系统性的需要,更是通过地图学来探索与培养更深层次的素质与能力的需要。有些知识,则是学科发展的前沿,写在教材中,可以给学生以"窗外的世界真奇妙"的感受,以开阔眼界、启迪思维。比如导论中有关地图几种新的分类;地图概括的现代发展;多媒体地图与电子地图;地图编制与复制一体化;地图数据视觉化的概念等。

本教材编写分工如下:第一章(除§3),第六章的§4、§5、§6、§7,第十章,由蔡孟裔负责;第二章,第六章的§1、§2、§3,第七章的§1、§2、§5,由周占鳌负责;第三章、第四章、第五章、第七章的§3、§4由毛赞猷负责;第一章的§3、第八章、第九章,由田德森负责。由蔡孟裔对全书各章的内容进行统稿及协调,审稿后,各章的撰写人对各自的书稿做了修改,最后由蔡孟裔、毛赞猷统一定稿。

教材在编撰过程中,得到了诸多同行及专家的热情支持、鼓励和巨大的帮助:教材的编写大纲及指导思想,得到了地图学教学研究会上许多同行发言的启发;大纲经过国内七位知名地图学家陈述彭、高俊、陆漱芬、廖克、张力果、祝国瑞、陈丙咸等教授的审阅修改;教材经过了教育部地理学教学指导委员会主持的审稿会,陆漱芬教授担任了本教材的主审,张超教授、黄杏元教授参加了审稿,三位教授对全书初稿进行了认真、严格的审查,提出了许多中肯的批评及建议,对提高本教材的质量起了重要的作用;陈述彭院士、陆漱芬教授还热情为本书作序。此外,华东师大黄余明高级工程师对书稿中不少插图的设计,各作者所在学校的同事、研究生对书稿所做的大量具体工作,都是对本教材的有力支持与帮助。还应提出的是华东师范大学地理系对编写本教材给予了一定的经费资助;华东师范大学、北京大学、南京大学、东北师范大学以及高等教育出版社的各级领导给本教材以及作者们许多具体的支持与帮助;责任编辑靳剑辉为本教材付出了艰辛的劳动。所有这些,都是使本教材成功必不可少的因素,我们谨对上述所有单位及同志致以衷心的感谢。

作为一本新教材,必然会有学术观点的不同,也可能存在学识上的片面甚至错误。面对新世纪来临而带来的地图学科的迅猛发展与变革,还将会出现体系、内容上的不足和滞后。因此,要成为一本成熟的跨世纪教材,还要经过艰苦的努力以不断完善。我们衷心地欢迎与期待使用本教材的老师、同学以及读者提出批评与建议。

作者于 1998 年 10 月

目　　录

彩图目录

第 1 章

导　论

以"图形"作为人类传输地理信息的工具，已经存在几千年。尽管最原始的地图，只是人们试图在树皮、沙地、陶片上，用石块、贝壳及一些利器，保存和传递对于地理环境的印象，但这已经孕育了一种最简单的地图模型。经历了几千年来社会的发展，人类以地图作为认识客观世界、传递时空信息的方式之一，不但没有被其他形式所替代，却随着科学技术的进步，使地图的制作精度不断提高，表现形式更加多样，应用功能不断扩大，制图理论日趋成熟。地图成为生产建设、科学实验、日常生活不可或缺的工具，地图学也成为一门具有完善学科体系及多层次地图理论支撑的综合性学科。

§1　地图的基本概念

1.1　地图的基本特征和定义

从古老的埃及、巴比伦4 000多年前刻在陶片上的地图(图1-1)，我国在长沙马王堆汉墓出土的2 000多年前绘制在缣帛上的三幅古地图(图1-2)，一直到如今我们所见到的各种地图、地图集，无论制图工艺及表现形式有了多大的变化与进步，作为一种图形，它与其他图像如素描图、遥感影像等，都是对客观存在的描述(图1-3)。

无论从传统的，还是现代的观点，地图所具有的基本特征，都可以概括为四个方面：数学法则、地图概括、符号系统、地理信息载体。

1. 地图必须遵循一定的数学法则

地图总是以缩小的形式反映远远大于人眼正常视野范围的物体；地图通常需要把地球曲面上的事物和现象转换为平面状态加以表示；地图必须准确地反映它与客观实体在位置、属性等要素之间的关系，因而比例尺、地图投影、各种坐标系统就成了地图的数学法则。随着对地图特性认识的深化，更趋向认为地图是一种客体模型，这就突破了地图不仅具有欧氏几何的长度、面积的比例尺，

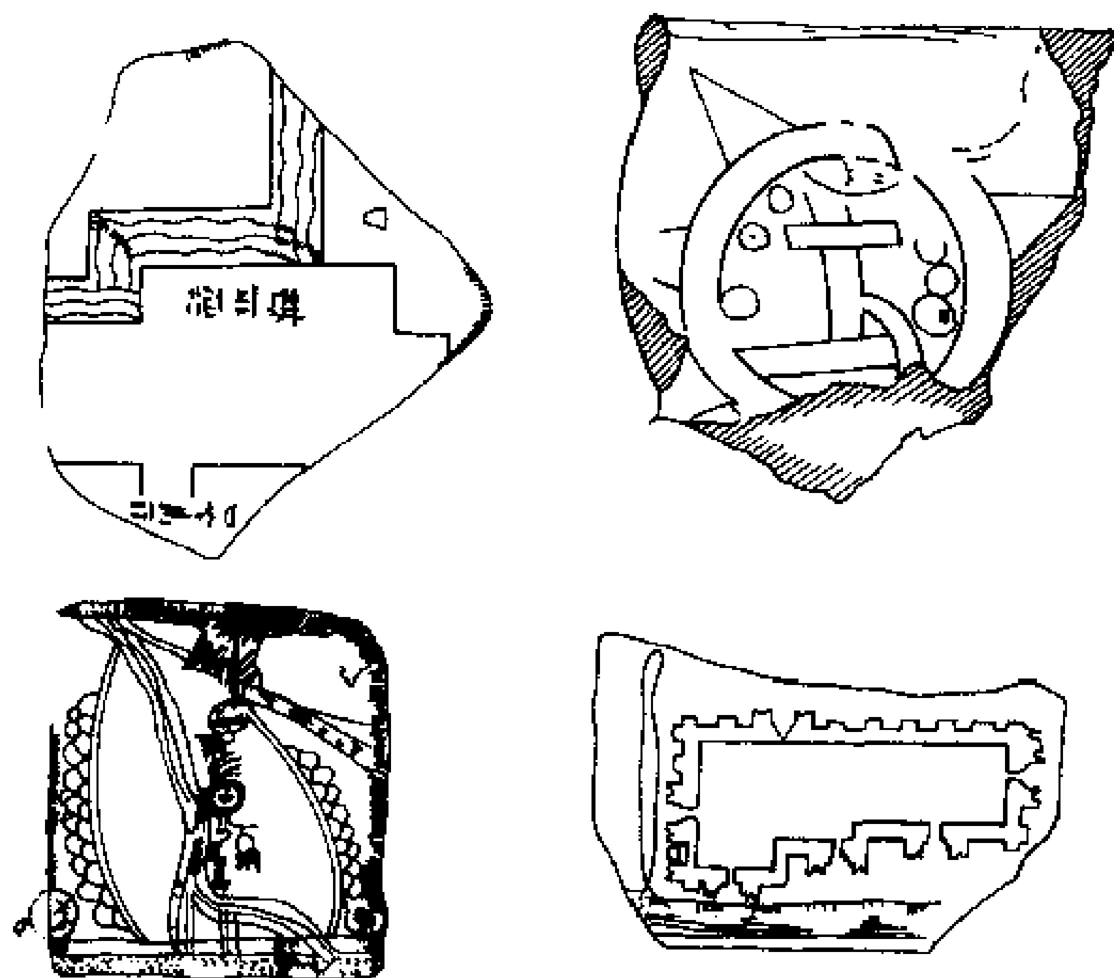


图1-1 刻在陶片上的一些城市平面图(公元前2250年)

而且还具有拓扑比例的概念。此外,地图作为一种模型,不仅是具体而现实的图形形式,还可以以数字或数学的方式来表现。

2. 地图必须经过科学概括

缩小了的地图不可能容纳地面所有的现象。地图上所表示的,是在大量的地理信息中,选取某些缩小的、需要的信息加以处理,并经过人们的思维与加工,形成地图。这种经过分类、简化、夸张和符号化,从地理信息形成地图信息的过程,就是地图概括。它反映了人们对所选取地理信息内在的、本质的特征及联系的认识。

3. 地图具有完整的符号系统

地图表现的客体主要是地球。地球上具有数量极其巨大的,包括自然与社会经济现象的地理信息。只有通过完整的符号系统,才能准确地表达这些现象,把制图对象的地理位置及范围,质量和数量特征,时-空分布规律与相互关系,用十分概括与抽象的符号加以表示。作为对客观事物的抽象表示——符号,不仅可以是图形的,还可以广义地理解为文字注记和数字形式。

4. 地图是地理信息的载体

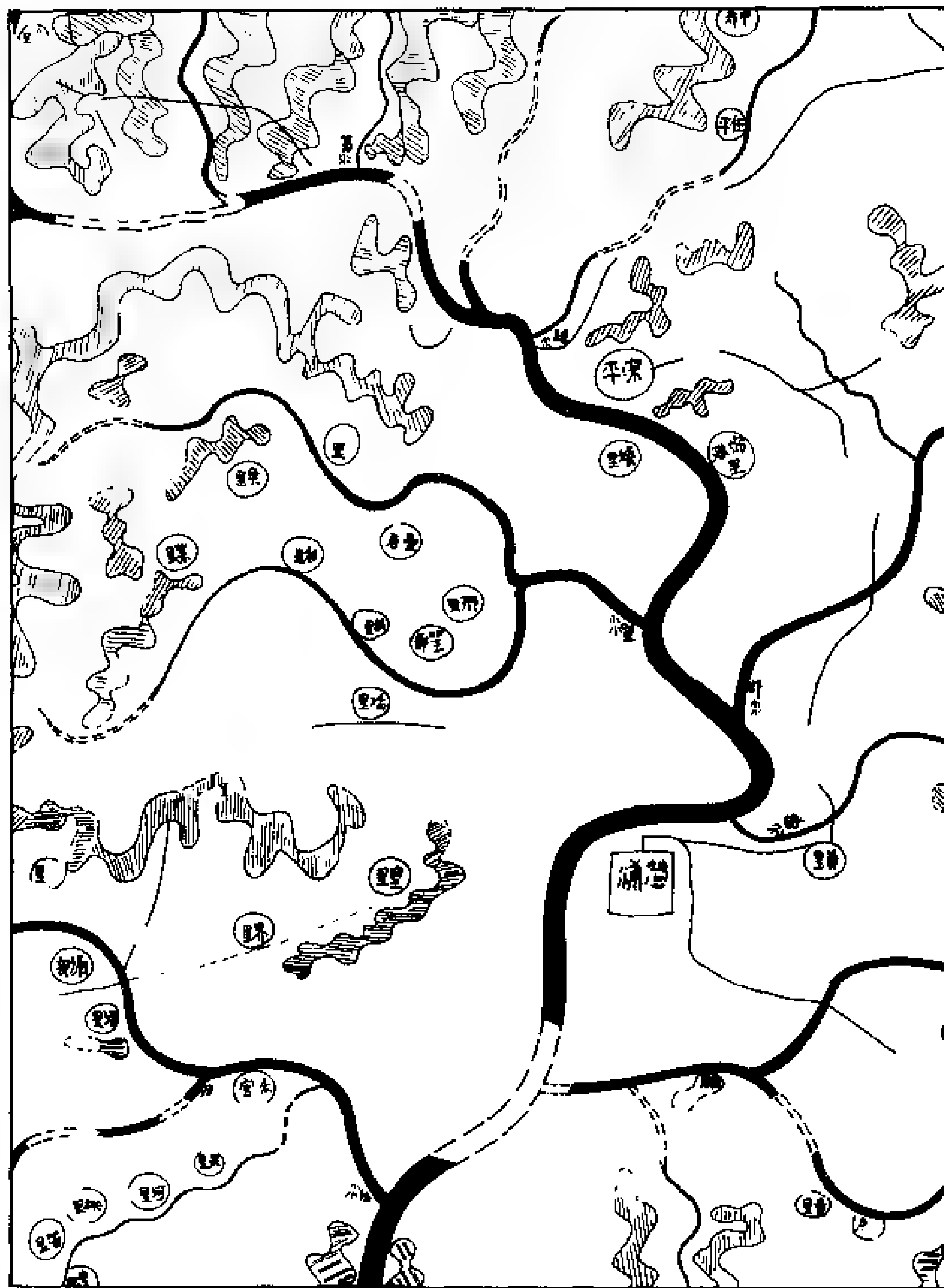
地图容纳和贮存了数量巨大的信息,它们来自客观实体。这些地图信息不仅能被积累、复制、组合、传递,还能被使用者根据自身的需要加以理解、提取及应用。而作为信息的载体,可以是传统概念上的纸质地图、实体模型,可以是各

种可视化的屏幕影像、声像地图,也可以是触觉地图。作为潜在的概念,还可将"图形"广义地扩展到数字模型及数学模型等形式。

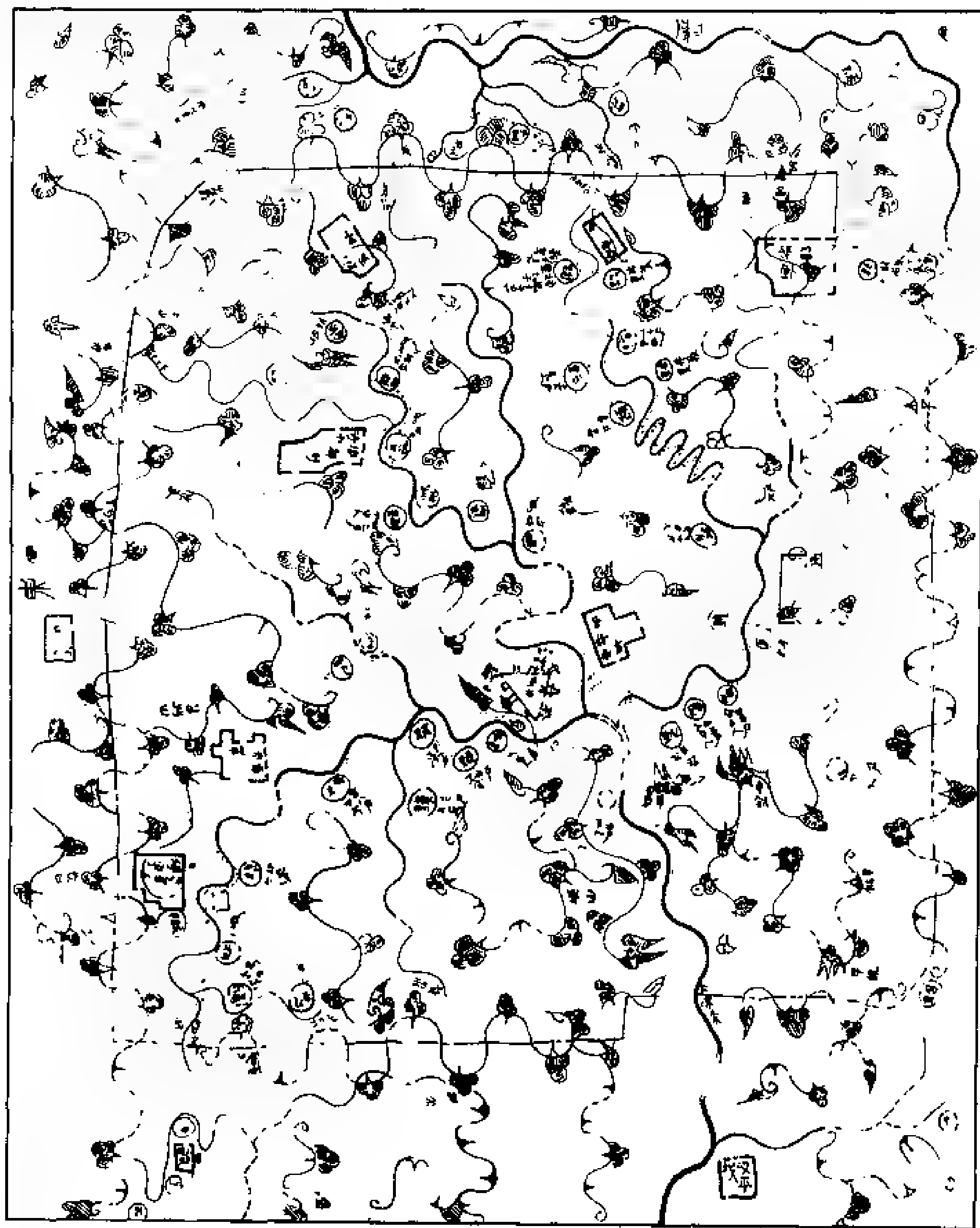
地图所具有的上述四方面特征,其他影像都不可能同时拥有。

根据这些基本特征,可以对地图作这样的定义:

地图是遵循一定的数学法则,将客体(一般指地球,也包括其他星体)上的地理信息,通过科学的概括,并运用符号系统表示在一定载体上的图形,以传递它



a



b

图1-2 长沙马王堆汉墓出土的古地图(复制图局部)

a 地图形 ,b 驻军图

们的数量和质量在时间与空间上的分布规律和发展变化。

有关地图定义的讨论,国内外地图学者有着许多不同的见解。这反映了在科学与技术不同发展阶段,或者从不同的理论视角对"地图"所包含深刻内涵的认识差异。国际制图协会

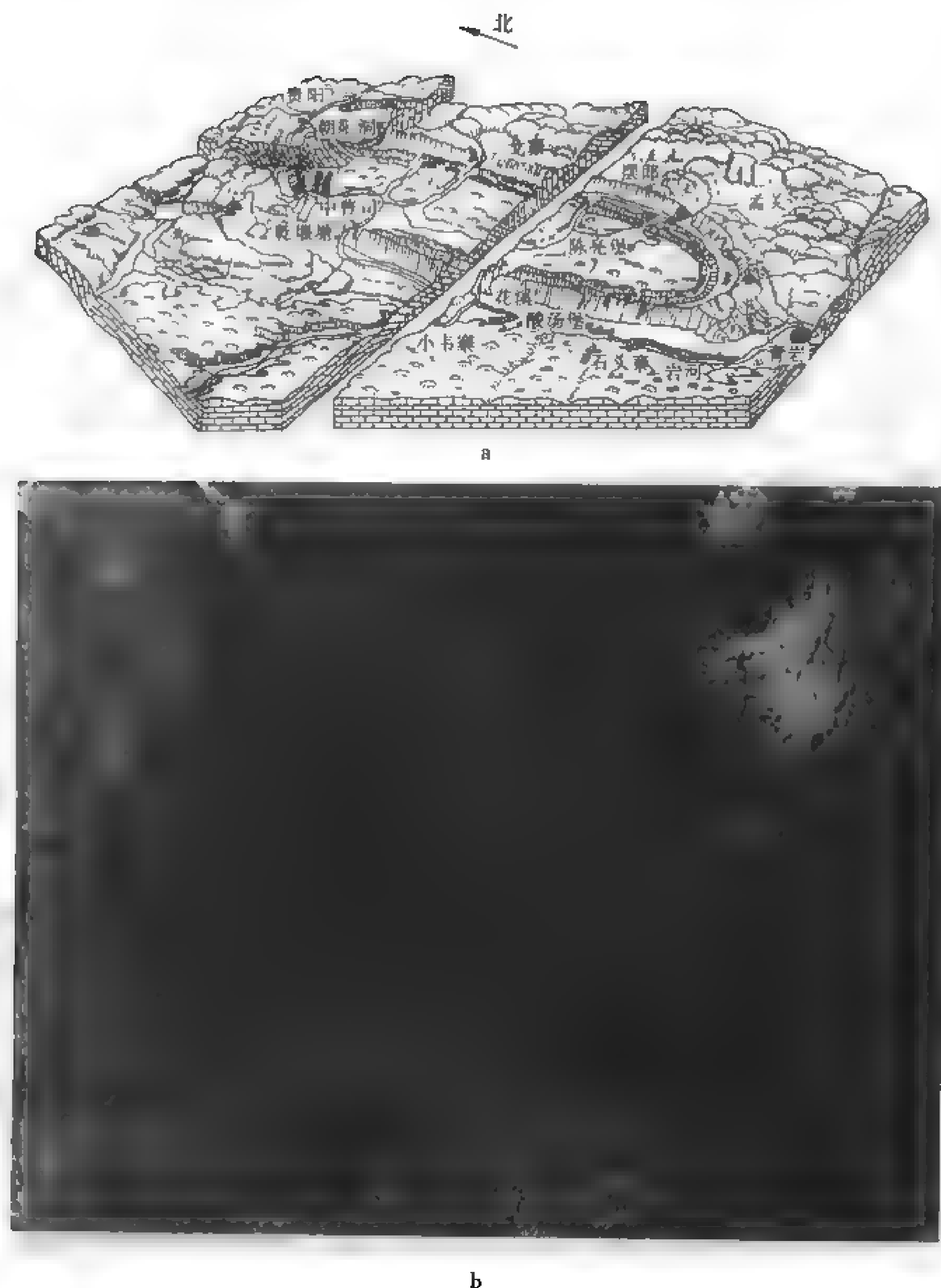


图 1－3 a. 地形素描图 b. 遥感影像图(洞庭湖地区)

(International Cartographic Association,简称 ICA)下设的“地图定义专门工作组”的鲍德(Board)和威思(Weiss)提出“地图是地理现实世界的表现或抽象,以视觉的、数字的或触觉的方式表现地理信息的工具”;美国地图学家罗宾逊(A.H.Robinson)认为“地图是周围环境的图形表达”;还有些外国学者提出“地图是空间信息的图形表达”,“地图是反映自然和社会现象的形象符号模型”,“地图是信息传输的通道”,“地图是空间信息的抽象模型(符号化模型)”等。国际制

图协会出版的《多种语言制图技术术语词典》里，对地图的定义是"地球或天球表面上，经选择的资料或抽象的特征和它们的关系，有规则按比例地在平面介质上的描写"。

多年来，我国地图学界对"地图"比较通用的定义是："根据一定的数学法则，运用制图综合的方法，以专门的图式符号系统把地球表面的自然现象和社会经济现象缩绘在平面上的图形，称为地图"。近年来，我国也有地图学者在讨论了地图的现代理论和生产技术特征之后，指出"地图必须有一个可度量的、精确的数学基础；把按一定比例缩小的地表面的图形、数据和现象表示在一个平面上；这种缩小和表示都是经过了选择、简化的过程并转换成了符号"。他们给地图下了这样一个定义："地图是用符号表示的地面的概括化了的图形，它必须经过数学变换来建立在平面上，地图作为人们认识和研究客观存在的结果，可以反映各种自然、社会现象的空间分布，也可当作人们认识和研究客观存在的工具，去获得新知识"。我国还有学者提出"地图是环境空间中地学实体集合的质量、数量，时间、空间特性全面抽象后的图形符号模型，简而言之，地图是地学信息的图示"。

1.2 地图的构成要素

我们熟悉和使用的地图，大部分都是通过直接或间接转换的方法，以可视的图形形式出现。仅仅以数字方式贮存的地图信息，是地图的一种广义或潜在的表现形式，也可以认为是地图信息传递过程中的一个阶段。地图的载体有不同的介质，最常见的是纸与屏幕，它们具有共同的构成要素：图形要素、数学要素、辅助要素及补充说明。

1. 图形要素

是地图所表示内容的主体，把自然、社会经济现象中需要表示为地图内容的数量、质量、空间、时间状况，运用各类地图符号表示出来而形成图形要素。地图上的各种注记也属符号系统，它们都是图形要素的组成部分。

2. 数学要素

是保证地图具有可量性、可比性的基础。地图的数学要素主要包括地图投影、坐标系统、比例尺、控制点等。

(1) 地图投影　地图通常是平面，而作为它表示对象的地球表面却是一个不可展开的曲面，必须通过数学方法，建立地球表面与地图平面之间的关系，将地球表面的点、线、面一一对应地转移到地图平面上。

(2) 坐标系统　将球面上的点位对应转移到平面时，可以采用坐标系统，其中为人们所熟悉和常用的，一种是以经度、纬度组成经纬网格的地理坐标系，一种是以 x，y 横纵坐标构成的平面直角坐标系。

(3) 比例尺　表示地图图形相对于地面实体的整体缩小程度

(4) 控制点　在地面上运用精密测量的方法，获得对平面与高程位置的精度具有控制意义的点位。如天文点、三角点、导线点、水准点等。这些点位所具

有的平面坐标值及高程,是直接测量地图的依据。

3. 辅助要素

说明地图编制状况及为方便地图应用所必须提供的内容,它们大部分被安置在主要图形的外侧。辅助要素包括:图名、图例、地图编号,编制和出版本图的单位、时间,主要编图过程及参数(图1-4)。因此,辅助要素也是保证地图完整性及地图使用中不可缺少的部分。

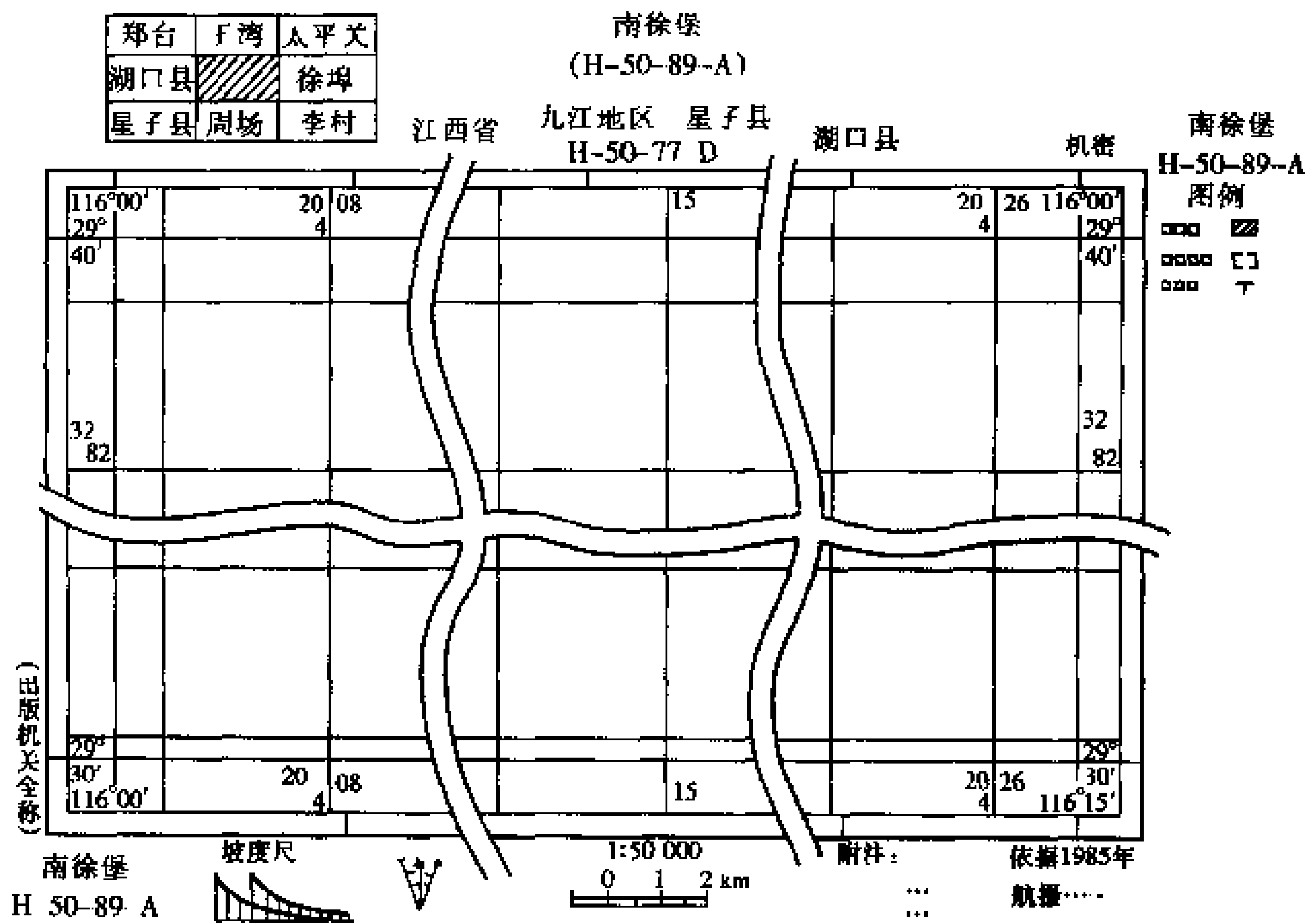


图1-4 地形图的辅助要素

4. 补充说明

以地图、统计图表、剖面图、照片、文字等形式,对主要图件在内容与形式上的补充。可根据需要配置在主要图面的适当位置。

地图的种类很多,功用也不尽相同,因此,地图的制作方法及成图过程也有很大差异,主要分为实测成图与编绘成图。

1. 实测成图

长期以来,实测成图法一直是测制大比例尺地图最基本的方法。其工作过程主要包括四个步骤,首先在国家控制网点的基础上进行扩展、加密成实测地图所需的图根控制点或网,其次以图根控制点为基准,对实际地物的平面位置及高

程进行施测，然后转入内业，对图件进行整理、清绘，最后制作成地图(图1－5)。

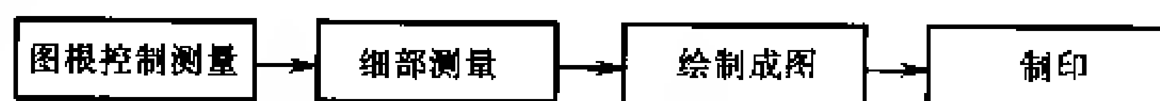


图1－5 常规地图实测成图过程

实测的方法可以分为地面和高空两种。地面实测地图，过去一直以平板仪、经纬仪等为主要仪器，内、外业的工作量都很大。现在基本已采用全站仪，将野外点位的各种数据在实测的同时一起输入仪器内由计算机贮存、计算，使成图工作量大为减轻，精度大为提高(图1－6)。高空实测地图的主要手段是航摄成图，通过航摄仪器获得地面影像后，转入室内进行各种处理，并对实地调绘后形成地图(图1－7)。这是目前由政府专业机构进行大比例尺地形图测绘的主要方法。

a.大平板仪
b.经纬仪
c.水准仪
d.红外测距仪
e.全站仪

图1－6 常规地面测量仪器

由于全球定位系统(GPS)、遥感技术(RS)、地理信息系统(GIS)在地图学科

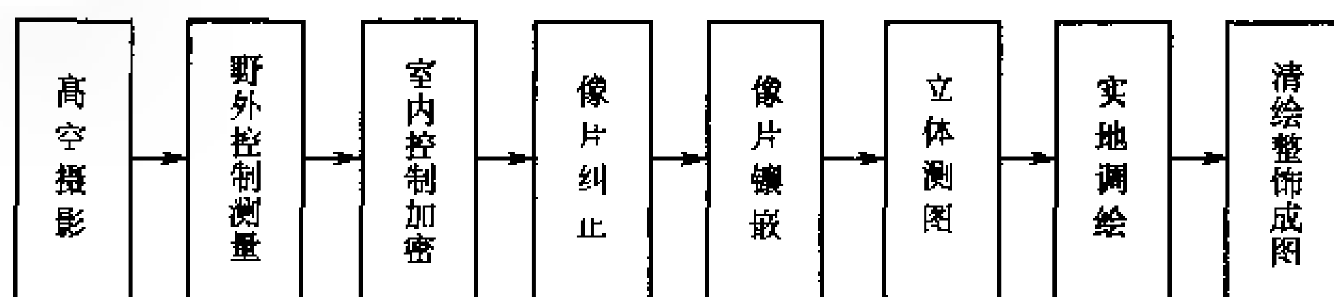


图1-7 航空摄影成图过程

中的应用，近年来开始出现通过3S集成系统收集与处理地面实地信息并形成地图的技术。这种技术是在一套移动式的测绘系统支持下完成的，主要设备有惯性导航系统(GPS/INS)、实时立体摄像系统(CCD)以及地理信息系统(GIS)等。

2. 编绘成图

传统的编绘成图方法，是把实测所得的大比例尺地图，根据需要，逐级缩小，编制成各种较小比例尺的地图。这种方法已经延用了几十年，虽然也可获得较高精度的地图，但工作量繁重，成图周期长。其主要过程可分为编辑准备、编绘、清绘、制印四个步骤(图1-8)。

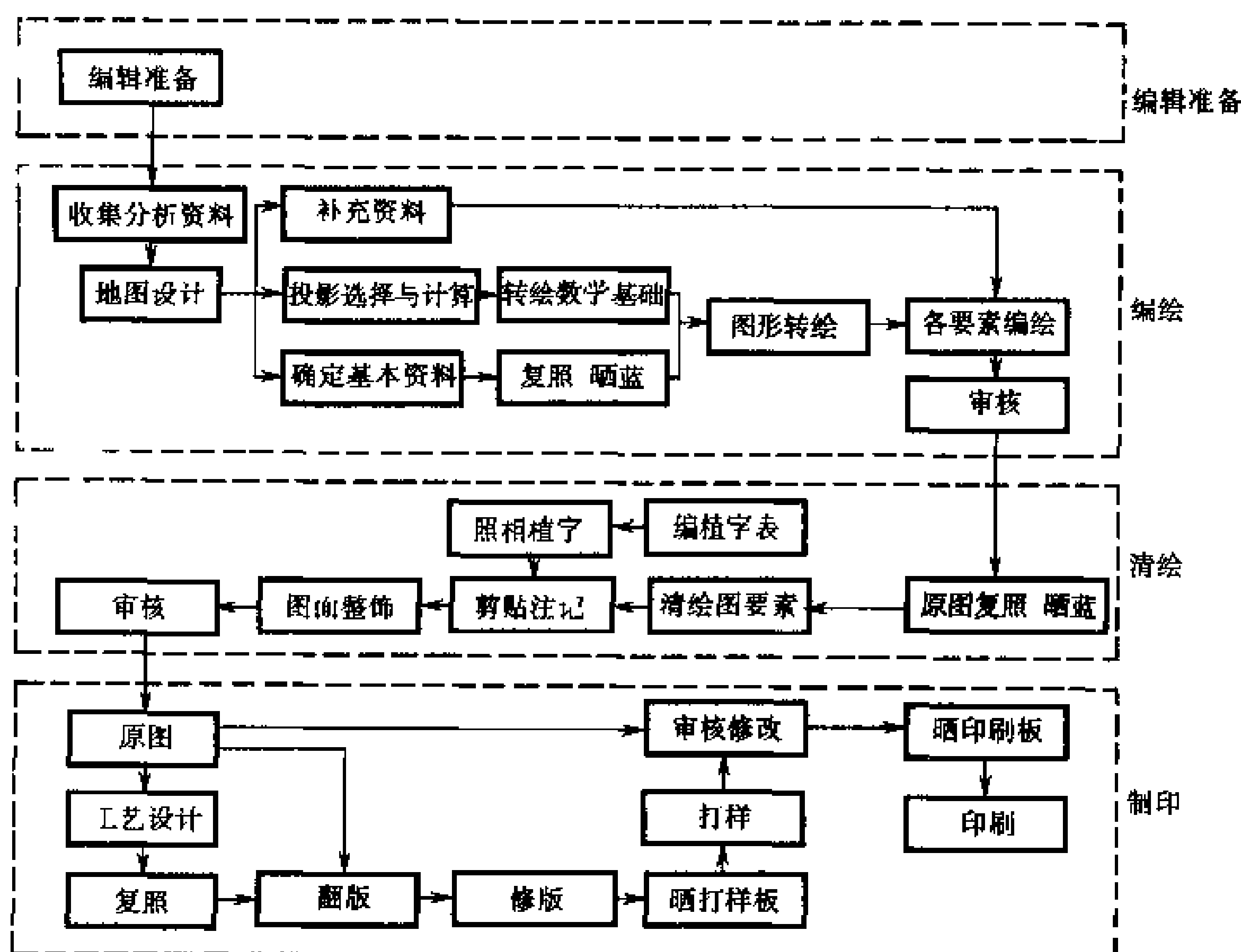


图1-8 常规方法编绘成图过程

传统的编绘地图方法正面临着现代地图技术的冲击，遥感资料成图以及计

算机成图已逐渐成为编绘地图的主要方法。以遥感资料进行编制地图的信息源一般是卫星遥感的数据或影像，这种方法的主要过程是：图像处理—图像判读—地图要素转绘—清绘整饰—地图制印(图1—9)。遥感制图的初期阶段，仍属于传统的编图方法，只是为地图资料增加了一个可靠的信息源，也突破了以往编制地图只能从大比例尺逐渐缩制成较小比例尺的成图程式，而成为可以从小比例尺的影像经过适度放大形成较大比例尺的影像后成图。目前，遥感制图从图像处理起一直到进入制印地图之前，都可以运用计算机进行，并与地理信息系统等有机结合而成为计算机编制地图工艺的组成部分。

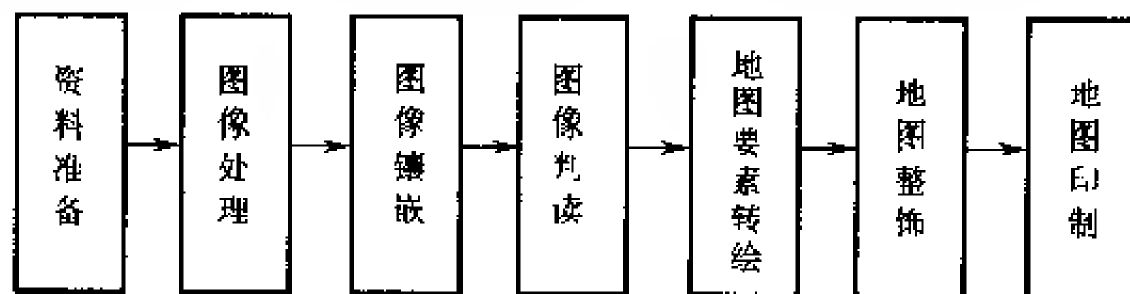


图1—9 卫星遥感资料成图过程

运用计算机作为主要设备制作地图，经历了30余年从试验、作为制图的辅助手段、直至今天日趋成熟几个阶段。它的工作过程可概括为四个部分，即：数据获取及输入、数据处理、图形显示与输出、地图制印。目前，前三个步骤已经形成几种比较成熟的工艺方案，并分别可由各自的软、硬件支持。地图制印仍多采用传统方法进行，也不断取得地图设计与印刷一体化的技术方案及研究成果。

§2 地图学的定义及学科体系

2.1 地图学的定义

地图的历史是悠久的。但漫长的历史中，由于地图制作缺乏系统的理论指导，从而极大地妨碍了地图学的发展。进入20世纪后，其独立的学科体系才逐渐形成，到了20世纪50年代前后，地图的数学基础，特别是地图投影有了较系统的论著，地图学开始迅速发展。20世纪70年代起，电子技术、航天技术、信息论、控制论等新兴理论与技术，以及现代数学方法不断向地图学渗透，使传统的地图学研究发生很大变化。一些地图学家先后提出了地图信息传递理论、地图模型论、地图感受论、地图符号论等新的理论；计算机辅助制图、遥感制图不断冲击传统的成图方法；地图的应用范围也在不断扩大。这些都促进了地图科学的结

构和体系的变化，丰富和加深了地图学的内涵，加速了对地图学定义的不断修改与更新。

对地图学的定义，在20世纪60年代，大部分都归纳为是"研究地图及其制作理论、工艺技术和应用的科学"。20世纪70年代，国际上许多著名的地图学家先后提出了新的看法。如前苏联萨里谢夫（K. A. Садищев）从模型论的角度出发，认为"地图学是用特殊的形象符号模型（地图图形）来表示和研究自然和社会现象的空间分布、组合和相互联系及其在时间中变化的科学"。美国莫里逊（J. L. Morrison）及前苏联希里亚耶夫（E. E. щиряев）从信息论的观点，分别提出了地图学的定义，他们认为"地图学是空间信息图形传递的科学"以及"地图学是空间信息图形表达、存贮和传递的科学"。《多种语言制图技术术语辞典》对地图学的定义是："地图学是根据有关科学所获得的资料（野外测量、航空摄影测量、卫星图像、统计资料等）进行有关地图和图形生产时，所进行的科学、技术和艺术全部工作的总称"。

我国一些地图学者认为，"地图学已跨越几个学科部门，地图的生产工艺和过程是以自然科学和数学为基础的；地图内容的选择和处理涉及到社会科学；研究地图的视觉和使用效果、探索地图的认识规律与思维科学和人体科学有密切的联系；对于把地图制作与使用当成一个传递系统，则又与系统科学发生联系"。为此，"地图学具有综合科学的性质"，进而对地图学所下的定义是："地图学是以地图信息传递为中心的，探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性科学"。它与目前流行的其他一些地图学定义相比，更为概括地总结了现代地图学的学科特点及研究内容，有利于地图学基本理论及地图学学科体系的探讨。

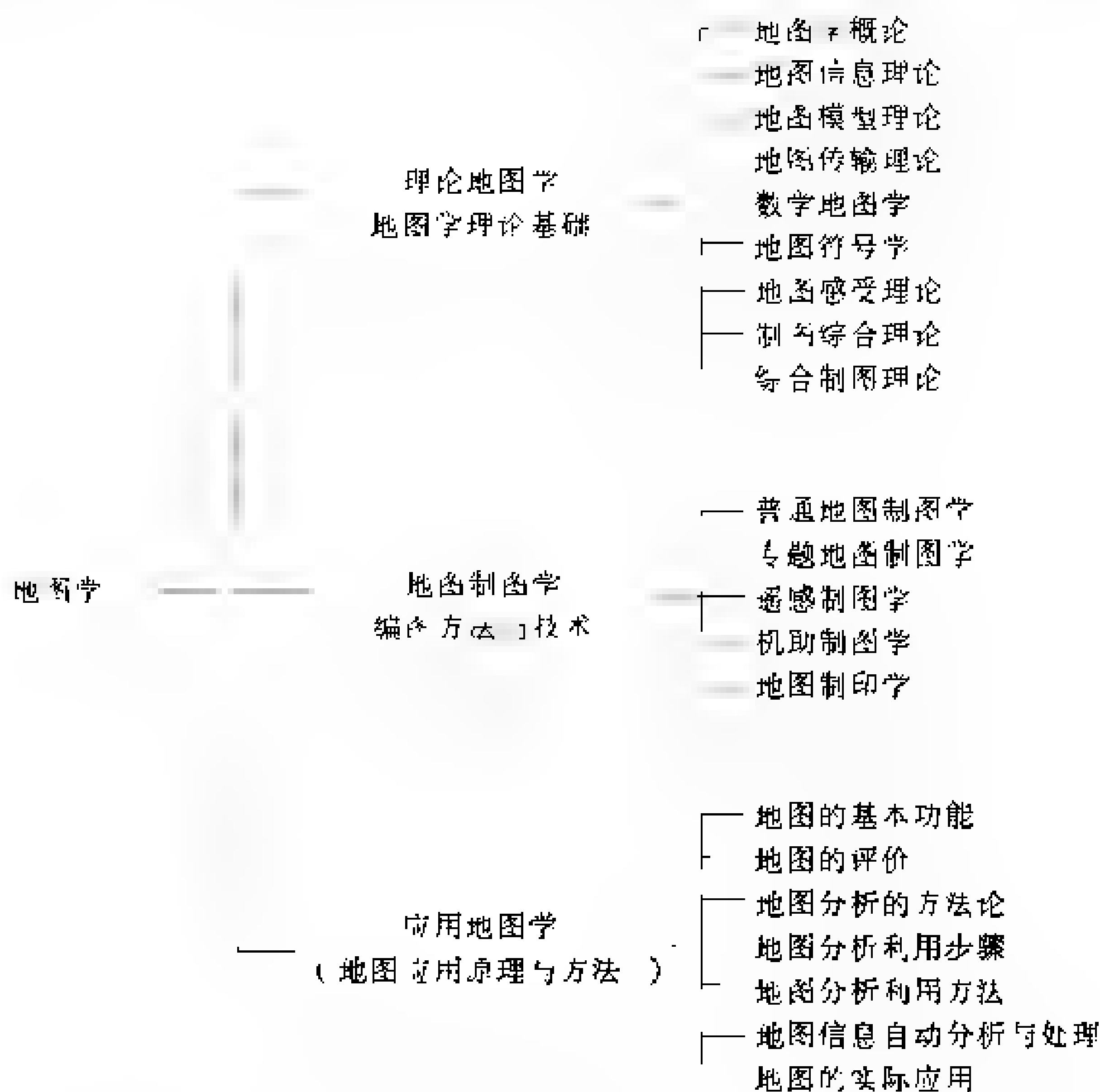
2.2 地图学的结构及学科分支

地图学在其逐步发展成具有独立学科体系的过程中，所包括的学科组成结构也在不断地变化与组合。早期的地图学是由数学制图学、地图编制学、地图制印学三个分支学科组成，继而又发展成为地图概论、数学制图学、地图编制学、地图整饰学、地图制印学等五个分支学科。自20世纪70年代起，由于各种地图学理论的提出和深入研究，国外对地图学体系的认识和理解有了很大变化。如波兰拉多依斯基（L. Ratajski）运用信息论的观点研究地图信息传递的特点，提出了地图学领域分为理论地图学与应用地图学两个基本部分。理论地图学包括地图信息传递等各种基本理论以及地图知识和制图方法的理论；应用地图学包括地图的编制、生产，地图应用，地图教育等内容。

我国地图学者对地图学结构体系的观点，已经在地图学的定义中作了明确的表述。地图学是由对地图理论研究、地图制作方法与技术、地图应用这三方面的分支学科所组成。

由此所提出的地图学体系如表1-1所示。

表1-1 地图学体系[1]（廖克，1982）



这个体系将相互联系的三大部分和其次一级内容一起组成了一个完整体系。该体系完整，各分支组成比较全面，体现了现代地图学的发展特点和趋势。因此，一个科学、合理的学科体系的提出，不仅是对过去研究成果的总结，还能有效地促进学科在更广阔领域内得到发展。

对这个体系所表示的三大部分以及分属于各部分的次一级学科，应当看到它们之间的关系不是简单的平行关系。它们在地图学体系中的作用也各不相同。如理论地图学的各个次一级学科中，有的属于基础理论：如地图学概论、地图信息传递理论；有的是应用基础：如地图信息论主要研究图形信息的采集、传递、存贮及处理；地图感受论主要研究地图图形视觉感受的基本过程及效果；地图符号论主要研究作为地图语言的地图符号的基本特性，包括符号与符号之间的关系、符号与表示对象的关系、符号与使用者之间的关系等。作为地图学体系中的第二大部分"地图制作方法与技术"，它们与地图理论中的应用基础学科有着更加直接的关系。而各个次一级组成学科的内容，虽也各成系统，但实际上又

[1] 表中的"地图传输"，本教材采用"地图传递"，"制图综合"，本教材采用"地图概括"。

是相互穿插的。如遥感制图方法已是专题地图制图学的重要内容，机助制图系统也已经涉及到了地图编图及制印一体化的技术工艺，是地图制印学必须讨论的新内容和新方法。相对而言，应用地图学是地图学体系中开展系统研究最迟的，因此它所属的次一级内容，更需要不断深入与完善。

2.3 地图学与相关学科的关系

地图学在长期发展过程中，曾与测量学、地理学有着十分紧密的联系。测量学一直是地图的信息源。包括自然地理、人文地理、经济地理在内的地理学及其各分支学科，都把地图作为自己的第二语言，并视之为成果表达的重要方式。

随着近一二十年来地图学在数据获取以及地图生产方式的变革，地图学与传统及新兴的相关学科不断重新组合。测量学、地理学及一些曾对地图学产生过重要影响的学科，一方面在原有基础上继续发挥作用，一方面又对地图学产生新的影响。如色彩学与美学的运用，是决定地图作品艺术性的基础，其对符号系统、图面配置的影响无所不在，能直接影响地图作品的品种、数量、质量以及地图的易读性。而对心理学的作用更不能低估，它直接促成了色彩学、符号学、感受理论等在地图学中产生深层次的影响。

一些横断科学，如信息论、系统论、传递理论等，也开始介入到地图学领域，为地图学各种基础理论及应用理论的形成提供了有力的工具。

数学一直是促进地图学形成独立学科体系的重要因素，而近年来地图生产、研究及应用的计量化，使数学对地图学的发展，特别是在各种信息源数据的处理、数学模型的建立、地图应用分析的定量化等方面发挥了更大的作用。

遥感技术与地图的结合，极大地提高了地图信息源的数量及质量，形成了新的成图方法；

计算机技术对地图学的深刻影响是不言而喻的。它空前扩大了可能制图的领域，增加了地图内容的深度，提高了制图生产的效率，计算机技术对地图的介入程度，甚至成了地图学现代化的一个重要标志。

地图学与地理信息系统(GIS)有着密不可分的关系。它们都是空间信息处理的科学，只是地图学更强调图形信息的传输，而 GIS 则更强调空间数据处理与分析。可以认为，GIS 是地图学在信息时代的发展，是地图学理论、方法与功能的延伸。

自 20 世纪 80 年代开始，由于 GIS 需要集成多学科的知识和技术，原先的单学科概念不能满足其发展的需要，促使了一门新兴学科的诞生，这就是地球信息学或地理信息学(Geomatics)。在我国，王之卓、陈述彭、李德仁等均大力倡导发展该学科，李德仁认为："地理信息学是利用各种现代化方法来采集、量测、分析、

存贮、显示、传播和应用与地理和空间分布有关的数据的一门综合和集成的信息科学和产业实体，是测量学、地图学、遥感学、计算机图形学、卫星定位技术、专家系统与现代通讯技术等的有机结合"。

21世纪将是诸多相关学科交叉的时期。地图学与相邻学科的这些关系，以及它们相互之间地位、作用、影响的变化，使原有的学科界线变得模糊，也必将促进地图学的进一步发展与成熟。

§3 地图学的历史与发展

用正确的观点和思想阐明地图学的发展历史，研究地图的发展过程，总结地图生产和应用的历史经验，对扩展地图学新的研究领域，适应现代科学技术和经济建设的需要，推动地图学的更快发展具有重要意义

3.1 地图学历史回顾

1. 我国地图学的历史回顾

在我国，地图的萌芽可追溯到4 000年前夏代或更早。鼎地图的传说记载于《左传》，由于是"贡金九牧"而铸鼎，且鼎上铸有山川形势、奇物怪兽，故后人称其为《九鼎图》。后在《山海经》中也有绘着山、水与动、植物及矿物的原始地图

随着原始社会的逐渐解体和奴隶制国家的建立，产生了行政统治和军事征战的需要，在客观上促进了地图的发展。3 000年前西周初期(约公元前1020年)，周召公为修建洛邑时绘制的洛邑城址地图，便是我国地图史上第一幅具有实际用途的城市建设地图。由于地图有明确疆域田界的作用，所以从周朝开始，地图就被统治阶级作为封邦建国、管理土地必不可少的工具。《周官》一书中所说的"地讼，以图正之"，就是讲的地图在这方面的应用。也正因为如此，掌握这类图籍的官吏也普遍受到人们的尊敬，连孔子见了"负版者"也要下车行礼，表示敬意。《管子·地图篇》对当时地图的内容和地图在战争中的作用都进行了较详细的论述，并明确指出"凡兵主者，要先审之地图"，只有这样才能"行军袭邑，举错知先后，不失地利"。《战国策》记载着荆轲为刺秦王而献督亢地图的故事，就是因为地图象征着国家主权和疆域土地，献地图就能接近秦王，可见封建统治者对地图的重视了(图1－10)。

我国周朝和春秋战国时，地图已被广泛用于社会和生产实践的各个领域。用图的范围扩大了，用途不同的地图，构成了不同主题的地图，这就是我国地图史上专题地图的萌芽。



a



b

图 1－10　荆轲刺秦王及所献地图

a　燕督亢地区图　b　荆轲刺秦王，图穷匕首见，汉武梁祠石刻画

（1）古代地图作品介绍　地图经过春秋战国时期的广泛应用，在内容的选取和表示方法上都积累了不少经验。秦始皇统一中国后，对地图的需要量进一步加大，从划分郡县到实行行政和经济管理，从修筑长城到建筑遍布全国的交通要道、兴修水利、开凿运河等大型工程都离不开地图。所以，秦始皇很重视地图的制作和收藏。尽管秦王朝的统治只有 20 多年，但到汉灭秦时，地图的数量已相当可观。刘邦灭秦，萧何入咸阳后先把大量的官家图籍接收过来，后来还专门建造了一个坚固的石渠阁来保存这些地图。

汉代的西域地图多用于军事，所以这些地图也可称为军事地图。但长期以来，这些军事图都是通过一些零星的文献记载而为我们所知，没有实物地图留存下来。因此，很难从这些文字记载中推断出汉代军事地图的绘制技术。有幸的是，1973 年 12 月，长沙马王堆汉墓出土了三幅军事地图，为我们研究汉代军事地图，提供了珍贵的实物资料。这三幅地图是地形图、驻军图和城邑图，它们均绘制在帛上，为公元前 168 年以前的作品（图 1－2）。

《地形图》的图幅为 86cm × 96cm，彩色普通地图，包括的范围为东经 111° ~ 112°39′，北纬 23° ~ 26°之间，相当于今湖南、广东、广西三省区交接地带，比例尺约为 1∶18 万。地图的主区为西汉初年的长沙国南部，今湘江上游第一大支流潇水流域、南岭、九嶷山及其附近地域。地

图内容很丰富，包括山脉、河流、聚落、道路等要素。图上绘有80多个居民点（中心较大城镇为“深平”），20多条道路，30多条河流。采用闭合曲线表示山体轮廓及其延伸方向，并绘以高低不等的几条柱状符号，以表示九嶷山9座不同高度的主要山峰。

《驻军图》是一幅高98cm，宽78cm，用黑、朱红、田青三色彩绘的军事地图。比例尺约为1∶10万，在简化了的地理基础之上，用朱红色突出表示了九支驻军的名称、布防位置、防区界线、指挥城堡、军事要塞、烽燧点、防火水池等军事地形要素，与军事驻防有密切联系的居民地、道路亦作为重要要素表示，还记载了居民户数、移民并村的情况。

《城邑图》高约40cm，宽45cm左右，图上绘有城垣范围、城门堡、城墙上的楼阁、城区街道、宫殿建筑等。

长沙马王堆汉墓地图的发现，给中外地图学史增添了灿烂一页。它成图时间早，内容丰富，在地图绘制原则的运用、绘制水平、使用价值等方面，都处于世界领先地位。

魏晋时期，裴秀（公元223—271年）的地图作品《禹贡地域十八篇》，不仅绘有新的郡国、府县的政区划分、居民地的位置，而且把古代的九州、历史上各王朝曾经举行会议的会址、签订条约的地点、古地名，皆一一表示在地图上。以此推断，该图具有历史沿革地图的性质。这种古今地名同绘一图的表示方法，对于用图者了解历史、了解古地名的变迁，无疑大有益处。此外，裴秀还将他总结和创建的制图理论，运用于此图，因此它标志着我国古代地图学的辉煌成就，奠定了我国地图学的基石。

唐代贾耽（公元730—805年）编制的《海内华夷图》，“广三丈，纵三丈三尺”，面积约十方丈，是魏晋以来第一大图。在制图方法上吸取了裴秀制图理论的不少优点，如讲究“分率”（一寸折成百里），图上古郡县用黑墨注记，当代郡县用朱红色标明。所以，该图不论从理论发展、绘制技术，还是地图大小、内容的选择和描绘，都是西晋以来所没有的，是中国地图学史上的伟大作品。

宋代对地图一向很重视，宋王朝不但要地方按时造送地图，中央政府还专门派人到各地测绘或校正地图。《淳化天下图》是北宋统一不久编绘成的第一幅规模巨大的全国总舆图。该图是根据各地所贡地图400余幅编制而成的。

在著名的西安碑林中，保存有一块伪齐阜昌七年（南宋绍兴七年，1137年）的石碑，在碑的两面分别刻着《华夷图》和《禹迹图》。根据图名、绘法以及图上的说明，《华夷图》可能是因袭唐代贾耽的《海内华夷图》制成的（制图时间约在公元1068—1085年）。《禹迹图》上刻有方格，是目前看到的最早的“计里画方”的地图作品。地图图形更为准确，图上所绘水系，特别是黄河、长江的形状很接近现代地图。

元、明两朝是中国历史上统一时间较长的封建王朝，在地图测绘方面也有长足的进步。例如，都对黄河源头做了详细的考察；郭守敬在测量上第一个提出了“海拔高程”的概念；产生了我国第一个地球仪等。特别是朱思本绘制的《舆地图》，资料收集广泛，取舍慎重，采用计里画方控制，与先人所绘地图相比有很大进步。但因其图幅太大，不便翻刻，故后世流传不多。

《广舆图》是在《舆地图》基础上编制的，其主要特点是按照一定的分幅办法改制成地图集的形式，《广舆图》是明代有较大影响的地图，前后翻刻了六次，从明嘉靖到清初的250多年间流传甚广，目前在国内外图书馆有珍藏。

此外，我国明代著名的航海家郑和（1371—1435年）先后七次航行在南洋和印度洋上，历

时20余年(1405—1431年),经历了30多个国家,留下了四部重要的地理著作和我国第一部航海图集,即《郑和航海图集》。它不仅是我国著名的古海图,也是15世纪以前最详细的亚洲地图。

清初康熙年间测绘的《皇舆全览图》是按省分幅,全图共41幅,包括西至西经4°,北至北纬50°,采用伪圆柱投影,边疆和内地的注记有所不同(内地各省地名注记用汉文,而边疆用满文)。《皇舆全览图》绘制成功后,"镌以铜版,藏内府",当时很少流传。该图是我国首次全国性的实测地图,对近代中国地图的发展有着极为重要的意义。

我国采用新法(即经纬度控制制图法)绘制的第一部世界地图集,是清末地理学家魏源(1794—1859年)编制的《海图图志》。全图集共绘地图74幅,内容包括半球图、各大洲和各国地图,在绘制方法上,完全脱离了中国传统的计里画方法,采用经纬度控制法,统一起始经纬度,地物符号的设计与现今的世界地图有类似之处,是中国地图制图学史上一部关于世界地图集方面开创性的著作。

(2) 近现代地图作品介绍 我国是世界上最早有地图的国家之一,产生过一批很有水平的地图作品,只是到了近代,由于外来的侵略和内政的腐败,才使我国的地图制图技术比西方国家落后。在中华人民共和国成立以前,虽然做了些地形测绘工作,但只编制出版了少量的地图集。中华人民共和国成立后,地图事业随着社会主义建设事业的需要,得到了迅速的发展,在全国建立统一坐标系统,不断修订和完善各种作业规范、细则、图式,以航测为主要手段完成了(除台湾省外)全国基本比例尺地图的测制工作,同时编制出版了大量的各种地图集。

《申报馆中国地图集》(1934年) 该图集原名为《中华民国新地图集》。为纪念《申报》发行60周年,由丁文江、翁文灏、曾世英编制。图集共有53幅地图,其中总图7幅,分图44幅,61个主要城市图并成2幅。总图的比例尺为1:500万和1:2 300万,分图的比例尺大部分为1:200万,蒙、新、藏为1:500万。全国总图采用亚尔勃斯割圆锥等积投影,以北纬24°和48°为标准纬线,分区图采用多圆锥投影。地图按经纬线分幅,避免了区域间的相互重复,各图幅可以互相拼接。最后附地名索引,收集地名36 200余条。

《中国地势图》 1:400万,单幅,1958年中国科学院地理研究所编制。这是由陈述彭、黄剑书编绘的一张划时代作品。他们运用地图概括的理论,对我国的区域地理特征进行科学的概括。例如,对我国西北干旱区,设计了多形态的沙地、黄土沟壑、雪山冰川、残丘的符号;对喀斯特、沼泽地貌也有专门表示;对我国水流丰富的河网地区设计了主支流的深蓝色常流河符号和次级河网的淡蓝色常流河符号,形成视觉上的两个层面。从此,使测绘部门的作业重视了地图上的地理适应性和地图概括中区域特征的制约因素。

《中华人民共和国自然地图集》 1965年中国科学院编制。四开本精装,共102页,附说明书一册。是我国第一本国家地图集,由陈述彭具体负责编辑。全图集专题门类齐全,原稿多由学科带头人编撰,编辑效果达到了内容统一协调,表示方法多样。图集的整体质量达到20世纪60年代国际水平的前列。

《中华人民共和国人口地图集》(1986年) 中国科学院地理研究所主编。它是我国第三次人口普查成果的反映,是我国第一次、第三次人口普查和人口研究成果的体现,也是建国以来第一部全面和系统反映我国当时的人口特征和地理分布规律的大型地图作品。图集共分8个图组,由142幅地图及文字说明组成。

《中华人民共和国农业地图集》(1990年，中国科学院地理与湖泊研究所和中国科学院地理研究所负责编制。图集共有彩色地图300幅，包括五个部分：序图、农业自然条件与资源、农业社会经济条件和技术水平、农业各部门的分布特征和生产水平、农业土地利用。选题从我国实际出发，立足于包括农、林、牧、副、渔在内的大农业，综合而系统地表示生物体、自然环境、人类社会活动三个因素的作用和联系。

《中华人民共和国国家经济地图集》(1993年) 由国家计委、国家统计局和中国科学院及其所属研究机构编制，是一部全面系统反映建国以来我国经济发展水平和地理分布的大型地图集。全图集共有248幅地图，全面、详细地反映中国社会经济的面貌，它不仅反映了中国社会经济量与质的变化，并且显示了不均衡的区域增长格局。图集制作是以计算机地图制图为主、传统方式为辅。国家经济地图集信息系统也与图集的出版同时建成。

《中华人民共和国国家普通地图集》 由国家地图集编纂委员会于1996年完成，是《中华人民共和国国家地图集》系列的首卷，也是编制其他各个分卷的基础。该图集全面显示中国自然地理面貌，较详细地表现与工农业生产和人民生息密切相关的水文、地势、居民地、交通、政区、土质、植被等基本要素的分布，是了解国情、规划部署生产、国土开发利用和地学研究等的重要基础资料之一。

(3) 我国地图学思想和理论成就 在我国数千年历史中，地图科学有着光辉的成就。通过对历代地图学家制图理论的研究可了解我国古代地图学的发展。从马王堆汉墓出土的地图来看，早在汉代，我国的地图制作在理论及绘制技术上，都已达到相当高的水平。研究我国地图学史中最早提到的一位地图学家是晋朝的裴秀。在他的著作《禹贡地域图十八篇·序》中，总结了前人和自己的制图经验，创立了我国最早的制图理论"制图六体"，即分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。"分率"，即比例尺；"准望"，即方位；"道里"，即距离；"高下"，即相对高程；"方邪"，即地面坡度起伏；"迂直"，即实地的高低起伏距离与平面图上距离的换算。裴秀还反复阐述了"六体"之间的相互制约关系及其在制图中的重要性。他认为，绘制地图如果只有图形而没有比例尺(分率)，就无法进行实地和图上距离的比较和量测；如果有比例尺而不考虑方位(准望)，那么在地图的一隅虽然可能达到足够的精度，但在地图的其他部分就一定会相差甚远；有了方位而没有里程(道里)，就不知道图上各地物的远近，有了"道里"而没有按"高下"、"方邪"、"迂直"来校正，那么道路的里程必然和实际的距离有差别，结果方位又会发生偏差。所以，"制图六体"在绘制地图时是缺一不可的六个方面。裴秀所著《禹贡地域图十八篇·序》涉及地图学内容之广泛，概括之精辟，是我国古代地图理论书籍中少有的作品。

宋代有代表性的地图学家是沈括(1031—1095年)，他博学善文，潜心研究天文、历法、数学、物理、医学、地理学等，晚年写成《梦溪笔谈》，在地图测绘方面也有很多贡献。例如，为疏通渠道作过840里的水准测量，发现地磁偏角的存在，改进了指南针的装置方法，使用24方位的划分等，并编绘了《守令图》，即《天下州县图》。

朱思本(1273—1333年)，元朝有名望的地理学和地图学家，自幼喜读地理书籍，熟知中国的山川分布和古代九州的划分。他对地理知识的求索并不局限于泛游名山大河，而是考察历史沿革，核实地理情况，发现先人的图籍"殊多乖谬"，于是"思构为图证之"，经过10年的努力，著成《舆地图》二卷。朱思本的地图采用传统的计里画方之法，侧重河流山川要素的绘制，并注重其精度。先绘许多各地小幅地图，最后把小区域地图拼贴描绘合成一幅大图。可惜的

是，图幅太大（长广七尺）不便翻阅。

清康熙、乾隆两代，我国的地图测绘进入了一个新的阶段。清初康熙年间测绘《皇舆全览图》开始，西方科学制图方法在我国引起重视。康熙聘请了一批西方传教士，进行了全国性的大规模的地理经纬度和全国舆图的测绘，采用天文测量和三角测量相结合的形式进行，从康熙二十三年（1684年）开始，到康熙五十八年（1719年）结束，历时35年，测算经纬度630个点，奠定了中国近代地图测绘的基础；1718年完成《皇舆全览图》，图幅巨大，范围广阔，包括东北各省、蒙古、关内各省、台湾以及哈密以东地区。更重要的是，该图以实测的经纬点为依据，采用梯形投影法，在图上绘出经纬网，这在地图学史上具有重要意义。

康熙、乾隆年间实测地图的完成，把我国地图的发展推到了一个新的更高水平，并影响了各省区地图集的编制，使得清初出现了各种版本的地图集，是地图发展的繁荣时期。到了清朝中叶，地图科学的进展不大，地图内容没有更多新的改进。到了清朝末叶，资本主义在中国有所发展，办工厂、开矿山、建新军等事项已成为清政府不容忽视的工作，测绘较详细的地图已成为迫切需要。于是在光绪十二年（1886年）开始了全国规模《大清会典舆图》的编绘工作。清末这次省图集编绘在中国地图发展史上具有极为重要意义，它是中国传统古老的制图方法向现代制图方法转变的标志。其突出的表现是计里画方制图法与经纬网制图法混用，传统的地图符号与现代的地图符号混用。到清末，地图已摆脱了旧的制图方法，开始编制专题地图，并采用多色印刷。

我国自鸦片战争以后，由于社会制度腐败及帝国主义侵略，阻碍了科学技术的发展，地图事业也大大落后。国民党统治时期虽已开始使用航空摄影测量成图，设立天文观测所，采用以海福特椭球体计算的兰伯特投影作为地图网格，但这个时期完成的地图及测量成果不多，而且没有统一的标准。

中华人民共和国成立后，我国的地图学，特别是地图制图学得到了迅速发展。通过成立国家测绘总局，统一领导全国测绘工作；在大学、中专设立地图学专业，成立测绘学院，培养测绘专门人才；采用航空摄影测量方法制作了全国基本比例尺地形图，从根本上改变了我国地形图的落后与质量较差的局面；组织编纂代表国家水平的国家大型地图集；引进先进的地图编制理论与技术，逐步建立起我国的地图学科体系，使地图学在技术上和理论上有了很大的发展，缩短了与世界各国地图学水平的差距。

2、国外地图学的发展

国外古代地图的早期发展是与农业密切相关的。埃及的尼罗河沿岸为了重新确定被河水淹没的土地，需要进行丈量，产生了具有数学意义的，用图形表示土地轮廓和数量的地图。到了希腊、罗马时代，由于手工业的发展，又开始了海上贸易和战争，需要绘制大范围、高精度的地图，因而开始了测量经纬度、研究地图投影，编制小比例尺的航海图和世界图。

（1）古代地图作品简述 在国外，已经发现的最古老的原始地图，是在古巴比伦遗址北320km的加苏古城发掘出来的巴比伦地图，迄今已有4 500余年的历史。这是一块手掌大小的陶片，绘有山脉、流入海洋的河流、巴比伦城及其他一个城市，反映出人们当时对世界的认识仅仅局限于他们所居住的范围（图1-1）。

公元前6—4世纪，古希腊人埃拉托色尼（Eratosthenes，公元前276—公元前195年）在他的

地理学著作内所附的世界地图，不仅包括的地域范围大，而且最早测量了地球的曲率、周长，并在地图上绘制了经纬线，还以“毛毛虫”来表示山脉。公元87—160年，希腊学者托勒密(Ptolemaeus)首先采用简单圆锥投影方法绘制世界地图，采用了天文点测量的成果，绘图时注意到方位，有了投影概念，在地图上绘有经纬线网，所包括的地域范围广大，是这一时期的典型作品

中世纪在教会的统治下，进入历史上所称的黑暗时代，神学代替了科学 地图科学与其他科学一样，仅作为神学著作中的附属品，在当时被称为“寰宇图”。另外广为流传的是“T O”地图，该地图把耶路撒冷绘于地图中心，多瑙河、地中海和顿河构成T字形，分割欧亚非三洲。15世纪至16世纪是西欧的文艺复兴、工业革命和地理大发现时期，地图科学这时也同样得到大发展 由于航海的需要，对大区域的地图有了要求，出现了科学的世界地图、如16世纪荷兰地图学家墨卡托(Mercator，1512—1594年)用等角圆柱投影绘制的世界地图，对航海帮助很大，其投影至今仍为航海图和航空图所采用。

17世纪以来，英、法、德、美等国家资本主义的发展，对地图的精度要求提高，过去的概略地图已满足不了需要 随着科学技术的进步，地图学获得了空前的发展。欧美许多国家进行了大规模的三角测量，为大比例尺地形图的测绘奠定了基础。随着地图制作技术的日益发展，世界各国也普遍重视各种中小比例尺地图的编制、

(2) 近现代地图作品介绍 《国际百万分一世界地图》是维也纳大学A·彭克于1891年在“第五届国际地理学会议”上提出的，经过一个多世纪多次国际会议的讨论，就编图的原则、方法和国际合作等问题进行了协调，到1971年初，已出版800余幅，其中欧洲约105幅，亚洲约350幅，澳大利亚和大洋洲约55幅，非洲约130幅，美洲约195幅。由于各国编制百万分一地图的目的与用途不同，无论从内容、范围、表示方法、地图概括等方面，都没有达到完全的协调统一

1956年在联合国经济及社会理事会的会议上提出了编制1:250万比例尺世界地图的问题 由于当时对这一问题缺乏统一的认识，所以仅由保加利亚、匈牙利、民主德国、波兰、罗马尼亚、苏联、捷克斯洛伐克等7国的测绘部门编制出版了一套。该图的出版工作在20世纪70年代完成，共有244幅 地图内容除东欧7国外，对其他地区的表示也较详细，这在当时世界各国还没有较系统表示的地图的情况下，具有比较重要的价值。

苏联《世界地图集》 1954年出版，是20世纪50年代同类型地图集中的优秀作品。1967年再版 图集以普通地图为主，详细表示了地势、水文、居民地、行政区划、交通路线等，达到了编图时制图资料所许可的详细程度。图集共283页，这是一部大型的供详细了解世界各地一般地理情况的参考图集。

《英国泰晤士世界地图集》(The Times Atlas of the World) 是一部大型世界普通地图集，1895年初版，仅117页，图集一半以上的图幅是欧洲部分。1921年第二版，称为《泰晤士世界测量地图集》，图集中三分之一篇幅为欧洲部分。1955—1959年的5卷本是第三版，称世纪中叶版，共有120大幅，单面印刷，分卷装订，每卷均附该卷图幅内的地名索引。1967年第四版又改为1卷本，称综合版。至1980年已修订重版6次。这本图集是目前世界上行销最广的英文版单卷图集，不少国家已改译为本国文版

美国《新国际地图集》(The New International Atlas) 由“国际规划会议”负责筹划，地图的

实际编纂工作分别在美国、联邦德国、匈牙利、日本、瑞典和英国等6个国家进行。该图集首版为1969年，其后多次修订再版。它是一部采用英、德、法、西班牙、葡萄牙5种文字对照的百科全书性的世界中型普通参考地图集。这种"集5种文字于一版"的做法，为不同语言的读者提供了方便。该图集在表示我国政区内容的有关图幅时，把我国的台湾省作为一个"独立政区"单独设色，这是完全错误的。对我国国界的画法亦有明显错误。

(3) 地图学思想和理论成就　公元前6世纪至公元前4世纪，古希腊在自然科学方面有很大发展，尤其在数学、天文学、地理学、大地测量学、地图制图学等领域内，涌现出一批卓越的学者，他们在许多理论方面提出了一些新的概念。例如阿那克西曼德(公元前610—前547年)提出了地球形状的假设，认为地球是一个椭圆形；埃拉托色尼第一次编制了把地球当作球体的地图；喜帕尔赫(公元前160—前125年)创立了透视投影法，利用天文测量方法测定地面点的经度和纬度，提出将地球圆周划分为360°；托勒密所著《地理学指南》实际上是古代地图制图学的一部巨著，对当时已知的地球各部分作了比较详细的叙述。

15世纪以后，欧洲各国的资本主义开始萌芽，哥伦布进行了三次航海探险，发现了通往亚洲和南美洲大陆的新航路和许多岛屿。麦哲伦第一次完成了环球航行，证实了地球是球体的学说。这些航海和探险使人们对地球各大陆与海洋有了新的认识，为新的世界地图编制奠定了基础。

16世纪，荷兰墨卡托创立等角正轴圆柱投影(后被命名为墨卡托投影)，以代替托勒密的普通圆锥投影地图。他用等角正轴圆柱投影编制的世界地图，不仅收集并改正了所有天文点成果，把当时所认识的世界地理知识表示到图上，而且等角航线被表示成直线，适用于航海。在这一时期，由于测量方法与仪器的发明，测绘精度的提高，地图表示方法的改进，平版印刷的出现，详细的大比例尺地图的测绘，满足了当时资本主义发展对地图的需要。

从19世纪开始，由于自然科学的进步，普通地图已不能满足需要，于是产生了地质、气候、水文、地貌、土壤、植被等各种专题地图。例如，德国伯尔和斯编制出版的自然地图集、俄国的道库恰耶夫编制的北半球土壤图与俄国欧洲部分土壤图等，都对当时专题地图的发展起了一定的推动作用。

20世纪初飞机出现，并很快研制成功航空摄影机和立体测图仪，从此地图的测绘开始采用航空摄影测量方法。黑白航空像片成了专题地图制图的重要资料来源，照相平版彩色胶印技术的应用，使地图的科学内容、表现形式和印刷质量都提高到一个新的水平。到现代，地图学领域内，由于现代科学理论、计算机和电子技术的应用，地图学进入了一个新的发展阶段。

3.2 现代地图学进展

随着人类对认识宇宙的渴望，随着空间探测技术的发展，以及经济建设和空间信息传输对地图的需要，现代科学技术和理论在地图学中被不断引用，计算机地图制图、遥感制图和地理信息系统技术开始出现，人们对地图学的认识不断深化。所有这些变化，都使地图学的制图技术得以迅速发展，现代地图学理论不断涌现，也给具有几千年发展历史的地图生产实践活动增添了新的生命力。因此，对信息时代的地图如何开发和应用，是值得深入探讨的。

1. 现代地图及其制作的发展

在传统观念中,地图表示的对象是地球,其表示的形式是根据一定的数学法则,经过取舍概括后,将地球上的一些现象,用线划符号表示在平面上。但是,随着科学技术的发展,地图表示的对象和形式有了很大的变化。宇航技术的发展,使地图的表示对象从地球扩展到其他星球,现在已经有月球地形图、月球地质图和火星地形图。电子技术的引入,使地图内容的表现形式,不仅可以用线划符号,还可以用影像和数字的形式。数字形式的地图,便于计算机识别和记录,必要时可将其自动转换为线划形式的地图。现代地图载体的介质,除纸张、织物、聚酯薄膜和缩微胶卷外,还可以用全息照相和屏幕来显示。全息照相的地图,可以显示三维信息,屏幕显示的地图内容,可以用声音跟踪方法播放出来,成为"有声地图"。因此,目前在地图产品中出现了许多新型的地图,如数字地图、激光地图、全息地图、以电子地图为基础的声像地图、光盘地图等。虽然它们都是应用现代科学的高新技术制作而成的,其技术含量要比传统的地图复杂得多,但是,制作这些地图所花费的时间却大大减少。

制图技术的发展,对地图学具有重要意义。

手工制图方法在过去的制图活动中占有相当大的比重,即使在现代制图活动中也还是有一定的作用。

光学和机械学的引进,是地图学的第一次技术变革。光学投影装置减轻了体力劳动,改进了图形变换作业的精度。机械的应用使制图过程的速度和效率都有很大增长,制图成本显著降低。但是,机械技术对制图生产过程各个阶段的影响是不同的,地图复制阶段受到的影响最大。

光化学技术的应用是地图学的第二次技术变革。地图制作的照相技术,对地图学领域产生了巨大影响。航空摄影为地图工作者提供了新的地图图型,即影像地图。照相技术也为地图工作者提供了完成室内编图、绘图和地图复制作业强有力的技术支持。光化学技术对地图制图过程的影响是全面的,使制图各阶段均受益于其影响,即使在今天,仍然在不断地发挥着作用。

计算机的应用是地图学新的技术变革。在传统的地图生产中,地图制图人员一直潜心于制图方法的改进,以缩短地图制作的周期,但是,都不能很好解决地图编印过程繁杂这一"瓶颈"问题,只有在地图领域引进了计算机制图技术及其编辑出版系统后,局面才得到根本的改变。现在从地图的编绘直到印刷版的制作,从数据的输入到图形的输出,能做到基本摆脱手工操作,全部实现计算机化,地图生产周期大大缩短。对信息源进行一次数字制图工程,可以获得多项产品,这种制图技术的应用为地图适应信息时代的需求展现了美好的前景。

2. 现代地图学理论研究

现代地图学理论主要是用地图的方法来研究地理环境信息的表示和变换的

一些理论问题。由于其他科学(计算机、信息论、系统论等)的渗透,丰富和发展了地图学理论的研究。从目前发展来看,主要包括以下内容:

(1) 地图信息论 研究地理环境信息的变换、表达和利用的理论。它着重研究地图图形的表示、转换、传递、存贮、处理、利用等方面的技术与理论问题。地图是空间信息图形表达的一种形式,也是空间信息的存贮、传递和科学分析的重要手段。地图信息论可以作为计算机地图制图的理论基础,而计算机制图又为大量快速处理地图信息提供了手段。

(2) 地图信息传递论 研究地图信息传递过程和方法的理论。地图信息传递的基本过程是:客观事物(制图对象)通过制图者的认识,形成概念,再通过地图符号(地图语言)变成地图,又通过地图符号(地图语言)传递给用图者,使得用图者形成对客观事物的概念。地图信息传递理论在国际地图学界曾进行过热烈的讨论,提出了十多种地图信息传递的模型。目前为大多数地图学家所接受的是捷克的柯拉斯尼(A. Kolacny)所提出的地图信息传递模型(图1-11)。该模型把地理环境、制图者、地图、用图者,构成一个相互联系的系统来考虑。因此,地图信息传递就是指地理环境信息在地图上的选择和符号化,并为使用者认识和解译的过程。只有当编码的信息已经得到了辨认和解译,地图信息传递才算完成。这个理论把制图和用图联系起来,并统一在地图信息的传递过程中。如果不充分考虑到地图信息传递过程中,制图和用图这两个环节之间的相互联系,那就不能深入地研究、解释和解决现代地图学的复杂问题。

(3) 地图感受论 研究地图视觉感受的基本过程和特点,分析用图者对图像感受的心理、物理因素和地图感受效果的理论。读图者的视觉反映需经过物理刺激、生理变化和心理活动三个过程,经过思维活动来解译图像、认识客观世界。通过对地图图形符号和地图色彩的感受特点的研究,为地图美学提供理论依据,改变地图整饰设计主要依靠编图者经验的状况,进一步提高地图的表达力。因此,地图视觉感受的研究对充分利用地图信息和有效地提取地图信息都具有重要的意义。

(4) 地图符号论 研究作为地图语言的地图符号系统及其特性与使用的理论。该理论运用一般的符号学原理来研究地图符号,并且只是把一部分的原则用于地图符号中。地图符号理论给地图符号的设计和表示提供了理论基础。它着重研究符号与符号之间的关系,符号与表示对象之间的关系,符号与使用者之间的关系。在研究和设计地图符号时,也必须处理好这三者之间的关系。它为视觉感受构成一种图形语言,能直接用于地图设计,也是为地图学提供图形表达的理论。

(5) 地图模型论 用模型法来认识地图的性质,解释地图的制作和应用的理论。通过模型来研究系统,是系统论的一个重要方法。模型论在地图学中的

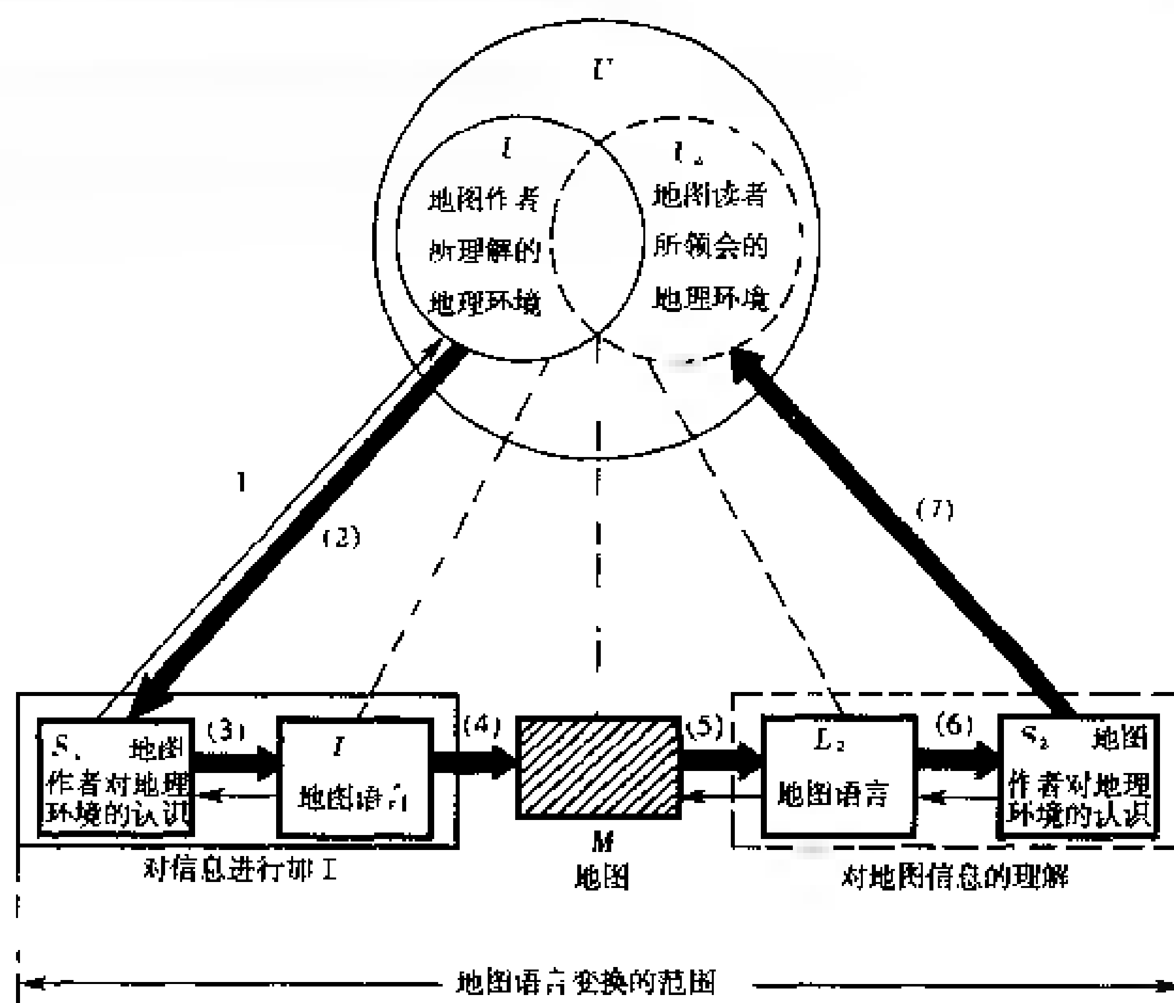


图1-11 地图信息传递模型

应用目前主要有两方面：一是把地图作为客观世界的模型来进行研究，在模型上阐述地理环境的结构特点和功能；二是把地图制作和使用所形成的人(制图者和用图者)-图系统作为一个模型来研究，并对地图信息传递模型进行探讨。前者是关于地图应用基础的问题，后者是关于对地图学实质的认识问题。因此，用模型论研究地图学，对深刻认识地图的功能及其在地学中的作用有着重要意义。

(6) **地图认知理论** 研究人类如何通过地图对客观环境进行认知和信息加工，并弄清地图设计制作的思维过程及其描述的理论。随着人工智能在地图学中的应用，地图学家们发现认知制图理论研究的重要性，它可以了解地图的认知特点以改善地图、增加地图信息的传输效果。在计算机技术应用于地图制图时，要使电脑模仿人脑制作出优秀的地图，就要弄明白空间环境信息在人脑中是如何进行编码的，以及人在制作地图时的思维过程，这样才能在计算机内将空间信息合适地编码，并让计算机制图的过程模仿人类制图的思维过程。

(7) **综合制图理论** 综合性地图是反映自然环境或人类社会多种要素和现象及其相互联系的地图。综合制图理论是研究制作综合地图的理论与方法。综合制图是借助地图的手段，多方面、完整地反映客观环境的一种方法，具有很高的科学价值 它可以向地理学者提供客观环境新的结论和认识，能作为科学概括和预测的有效手段。综合制图在内容上要反映各种现象的空间结构和时间序列的变化，综合制图必须研究一系列方法，并对它们进行综合性处理，保证内容

的完整性、互补性和内容与形式的统一协调性。

现代地图学理论的研究产生了对地图和地图学的一些新的认识，使地图学的研究在深度和广度上都有很大的变化，同时促进了对地图学基本理论、地图学体系的探讨。

现代地图学理论对认识信息时代地图学的实质及进一步揭示地图学的发展规律是具有指导意义的。

现代地图学理论的提出对进一步阐述地图学的研究对象和理论建设，认识地图学与遥感、地理信息系统的共性与个性，理解信息时代地图制作与应用的特点，都具有指示作用。用现代地图学理论的观点研究地图，可使地图学的研究不致局限于技术范畴，对地图的性质和功能的认识也会起很大的变化。正如英国鲍德指出的，"为了解释为什么有些地图是成功的，而有些地图是不成功的，我们就需要地图理论，没有理论，地图学就将逐步失去其作用，并最终失去其价值。"

§4 现代地图的作用与类型

4.1 地图的功能

地图为什么能经历几千年的发展而长盛不衰，并且在可以预见的未来仍然不可能被替代，是个值得深思的问题。这充分说明了地图的存在与发展，是依托于地图本身所具有的许多强大功能，这些功能是人类认识客观存在与客观规律，并进而能动地应用这些规律的必然结果。这不仅仅是依靠对地图制作技术、表示方法、艺术感染力的改进与提高所能解决的。

地图的功能从总体上可以归纳为如下几个方面：

1. 认识功能

人们常常借助工具，观察和研究其所关心的各种现象(自然和社会的)。有些事物是微观的，可以用电子和光学的手段将其放大，以了解其形态和结构；而有些则是宏观的，如地理现象，必须以某种方式将其缩小，收入人们的视野，贮存于人们的大脑中，以了解其形态和结构，而后者正是地图所能做到的事情。

地图作为表达空间现象一种主要的图形形式，它的认识功能可以体现在许多方面：

(1) 可以组成整体、全局的概念，也就是确立地理信息明确的空间位置。运用地图进行方向的确定就是最简单、直观的例子。又例如我国各民族的区域分布十分分散，依靠语言或文字描述，无法构成整体分布状况的概念，而通过绘制

"中国民族区域分布图"则能圆满地解决问题。

(2) 提供空间分布物体和现象的尺寸、维数、范围等概念，形成正确的对比概念、图形感受及制图对象的空间立体分布和时间过程变化，也就是获得物体所具有的定性及定量特征。如运用各类统计地图、剖面图、断面图、过程线等，再结合图形分析及图上量算，便可获得大量有关对象的数量特征。

(3) 在形成各种事物或现象形态上分布规律的基础上，进一步探求它们之间可能存在的空间相关，也就是建立地物与地物，或现象与现象之间的空间关系。因为分布形态具有相似或相关规律的多种现象间，大多数会存在疏密不等的内在联系，如土壤与植被在垂直与水平分布上的相似规律是与当地的高程及气候分布特点相关的。

(4) 易于建立正确的空间图像。例如由于存在模糊的地域心象，通常会认为上海比非洲的开罗在地理纬度上要偏北得多，而与巴黎却处于相当的纬度。而实际情况却是上海与开罗均位于北纬30°附近，而巴黎则为北纬49°。只有地图才能帮助人们迅速建立正确的空间图形(图1－12)。

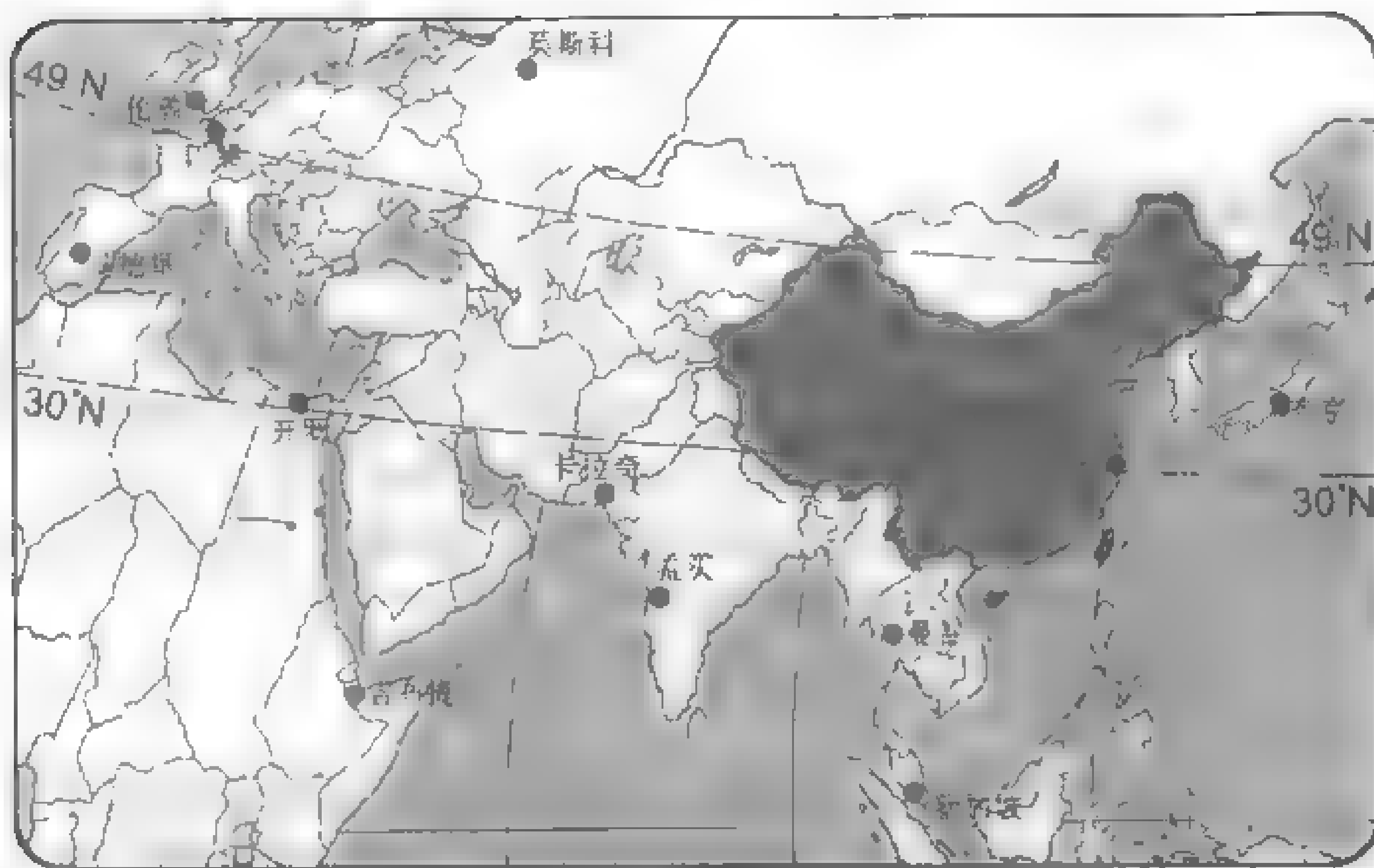


图1－12 纠正模糊的地域心象

因此，地图是人类认识自己赖以生存环境的最主要的，并且永远不可替代的工具。

2. 模拟功能

模型与它所表示的对象具有相似性。模型可以有物质模型与概念模型之分。把地图看成是地面客观存在的物质模型是比较容易理解的，因为地图，特别

是表示各种基本地理要素、如水文、地形、交通网、居民点等 的普通地图,可以直观地感受到是制图区域的 一种实体模型。在作为物质模型的地图上,还可以代替实地的调查与量测,在图上做各种模拟量测及分析。概念模型是对实体的一种概括与抽象,它又可分为形象模型与符号模型。形象模型是运用思维能力对客观存在进行的简化和概括;符号模型是运用符号和图形对客观存在进行简化和抽象的过程。地图兼具这两方面的特点,被视为 种形象-符号模型 由于地图所具有的模拟功能,就能够对所需要表示的对象在众多特征中,抽取内在的、本质的特征与联系,即经过地图概括,制成地图 因此,地图所具有概念模型的特性,使它特别在表示各种专题现象的分布规律、时空差异和变化特征时,是任何文字和语言描述所无法比拟的,因此可以把专题地图都作为概念模型的 -种实例。作为一种时空模型,还使地图在科学预测中发挥作用,如气象预报、灾害性要素的变迁及过程预测等。

3 信息的载负和传递功能

信息是 -个含义相当深刻、使用相当广泛的概念,但迄今为止还没有被人们充分理解和掌握。比较普遍地认为信息代表着某 抽象的,有待传递、交换、贮存和提取的内容,是可以测度的。信息不能脱离物质和能量而独立存在,它必须依托于载体,而又不可与载体混为 -谈。

地图能容纳和贮存的信息量是十分巨大的,是空间信息的理想载体。地图信息由直接信息(第一信息)和间接信息(第二信息)两部分组成:直接信息是地图上用图形符号直接表示的地理信息,如道路、河流网、居民点等;间接信息是经过分析解译而获得有关现象或物体规律的信息,如通过对等高线的量测、剖面图绘制等获得有关坡度、切割密度、通视程度的数据。磁介质相比于纸介质的地图,能贮存数量更为巨大的地理信息。

地图也是空间信息十分良好的传递工具,因为信息的另 -个重要特征是具有可传递性 信息是客观存在与人的认识之间的中间媒介,它的作用在传递过程中能得到充分的发挥。客观存在将大量信息用 -种易于被人们所接受的图形符号载负于地图上,然后流向人类,使人们从中获得知识、创造财富。而在信息传递和接受的方式上,语言、电讯号等常以线性方式进行,而地图则具有不同的方式与特点:人们阅读一幅地图, -般不会只是 -个点、-个点地顺序进行,而是先总览全图,然后再根据读图的目的,按 -定的区域或某个要素分析、研究,这就是说,地图传递信息时,在传输方式上具有层次特性,是平行的,甚至是空间形式的,它比线性传递方式具有更宽的传输通道以及更高的传输效率

4.2 地图的应用

由于地图具有多方面的功能,因此在经济建设、科学研究、国防建设、政治活动、文化教育及日常生活中有着十分广泛的用途。

1. 经济建设

自然资源调查和开发,如在土地资源、森林资源、矿产资源、水利资源、海洋资源、草场资源等的调查工作中,在制订计划、野外勘查、总结规划等各个工作阶段,都需要精度高、现势性强的地图作为必要的工具。

工矿、交通、水利等基本建设,从选址、选线、勘测设计到工程施工,都离不开地图。如大型厂矿的选址,除考虑所在地区地质条件和资源状况,还要考虑周边地区的自然和人文、经济状况,这就涉及许多基础地形图以及专题地图。此外,航海、航空事业也都需要海图及航空图。

城市规划,居民地布局,地籍管理等需要以比例尺较大的平面图作为基础图件。

农业方面的应用十分广泛,荒地开垦、沙漠治理、旱地灌溉、水土保持、防洪排涝、盐碱地改良、大规模的改造自然工程都离不开地图。如我国早在20世纪60年代初,就开展了全国和各省(区)农业自然资源调查和农业区划工作,并编制了相应的整套农业自然条件图、农业自然区划图和农业区划图,成为指导农业长远规划的重要科学依据。

2. 科学研究

地学的各门学科在进行科研工作时,一方面需要选用各种适宜的比例尺的地图作为地理底图,通过野外工作及室内地图分析,研究各种要素的分布规律、动态变化及相互联系,得到重要的研究结论、综合评价或作出预测预报,另一方面又把地图作为一种重要及独立的成果表达形式。如我国地质工作者根据主要构造带图的分析,确定石油地层的分布,直接指导了大型油田的勘探与开发;地震工作者根据地质构造图中活动断层的分布及其他资料,进行地震的中、长期预报。随着地图表示方法、分析功能的增加以及成图周期的缩短,地图不仅对原有地学领域的科学研究发挥更大的作用,还对一些地学交叉和边缘科学,非地学学科,甚至一些软科学领域,如环境科学、空间科学、医学、教育科学、管理科学等以地图作品的形式加以影响。

3. 国防建设

地图对军事活动的作用是不言而喻的。从各军种、兵种的首脑机关决策战略方针,中级指挥员制订战役计划,基层指挥员指挥具体的战斗行动,都无法离开地图。而且,从古到今,军事活动的需要往往推动与加速了科技成果的发展及

应用，地图也不例外．长沙马王堆出土的古地图中就有驻军图，航摄成图就是通过两次世界大战而完成从试验到实用过程的，数字地图也首先是在近年来的现代化战争中得到应用的。

4．政治活动、文化教育、日常生活

地图具有鲜明的政治性及法律效力．地图上的某些内容，如境界线、沿海岛屿等的标示，直接体现了国家的方针政策，代表了民族的切身利益。地图是进行思想政治教育的有力工具。学习和应用地图，都能更直观地了解祖国河山的壮丽、自然资源的丰富多样、建设成就的伟大以及国际政治风云的变幻莫测。在教学活动中，特别是地理教学中，地图更是绝不可忽视的重要教学手段．在日常生活中，如进行旅游活动、阅读报刊、关心国家和区域的经济发展、了解世界时事等，也都离不开地图，需要运用一定的地图知识

4.3 地图的类型

地图具有丰富的表现形式和许多成图方法，随着应用领域的扩展及科学技术的进步，新颖的地图成果层出不穷，因此可以从不同的视角对地图进行分类：

1．按地图的图型分类

有普通地图与专题地图之分。普通地图是表示自然地理和社会经济一般特征的地图，它并不偏重说明某个要素。普通地图上主要表示水文、地形、交通网、居民点、行政境界线、土质及植被，有时也表示一些常用的社会、经济、文化要素，普通地图按内容的概括程度，区域及图幅的划分状况等分为地形图和普通地理图（简称地理图）。地形图是按国家统一编图规范编制的比例尺较大的普通地图，我国把1:100万、1:50万、1:25万、1:10万、1:5万、1:2.5万、1:1万、1:5千这8种比例尺的地形图规定为国家基本比例尺系列地形图。

专题地图是着重表示一种或几种主题要素及它们之间相互关系的地图。专题地图的内容主要是各专业部门所选择的各类专业要素，也可以是普通地图上的某种要素加以专题化。专题地图所涉及的专业十分广泛，不仅包括地学范畴各学科，也包括若干其他学科。按各自的学科体系可以进行层次结构的细化，一般地说，它们都可以成为专题地图的专题内容。如地理学可分为自然地理与人文、经济地理两大类，自然地理又可分为更多的分支学科……

有一些具有专业特殊用途的专题地图，被称为专门地图。如航空图、海图是两种比较公认的专门地图，也有把教学图、旅游图列为专门地图的。

2．按比例尺分类

按比例尺的大小，可将地图分为大、中、小三类：

大于1:10万（包括1:10万）比例尺的地图，称大比例尺地图；

小于1:10万而大于1:100万比例尺的地图,称中比例尺地图;

小于1:100万(包括1:100万)比例尺的地图,称小比例尺地图。

3. 按区域分类

地图所包括的空间范围极其广阔。按区域范围从总体到局部、从大到小进行分类,可以包括多个层次:

(1) 星球图,地球图;

(2) 世界图,大洲图,大洋图,半球图;

(3) 国家图以及下属的一级行政区(如我国的省、自治区、直辖市)、二级行政区(如我国的市、县)以及更小的行政区域地图;

(4) 局部区域图:如海域图,海湾图,流域图。

4. 按地图的视觉化状况分类

可有实地图与虚地图。实地图是空间数据可视化的地图,包括纸介质(以及各种织物、聚酯薄膜等介质)地图和屏幕地图。它是将地图信息经过抽象和符号化以后在指定的载体上形成的。虚地图指存贮于人脑或电脑中的地图,前者即为"心象地图",后者即为"数字地图"。实地图和虚地图可以相互转换,如屏幕地图与存贮在磁带上的数字地图。

5. 按地图的瞬时状态分类

可有静态地图和动态地图。以常规方法制印的地图都是静态地图,它所表示的内容(或者称之为承载的地图信息)都是被"固化"的。以静态地图反映动态事物,可以借助于地图符号的变化或同一现象、不同时相静态地图的对比来实现。动态地图是连续快速呈现的一组反映随时间变化的地图,只能在屏幕上以播放的形式实现。

6. 按地图维数分类

可有平面地图(二维地图)及立体地图(三维地图)。平面地图是常见的地图类型。立体地图(三维地图)是利用立体视差原理制作而形成立体视觉,如互补色地图、光栅地图等。用各种材料(如塑料压膜、石膏、纸浆等)制作的实体模型也可列入立体地图范畴。近年来,以计算机三维动画影像技术制作的三维地图得到迅速发展(图1-13),特别是在军事应用领域,在三维地图基础上,利用虚拟现实(Virtual Reality,简称VR)技术,通过头盔、数据手套等工具,形成了一种称为"可进入"地图的新品种,使用者能产生亲临其境的感觉。

7. 按其他指标分类

(1) 按用途 可分为国民经济与管理地图(如各种自然资源及其评价、人口、劳动力等),教育与科学技术地图,文化地图等。

(2) 按语言种类 可分为汉语地图,各少数民族语言地图,外文地图。

(3) 按出版和使用方式 可分为桌图、挂图、折叠图、屏幕地图、地图集

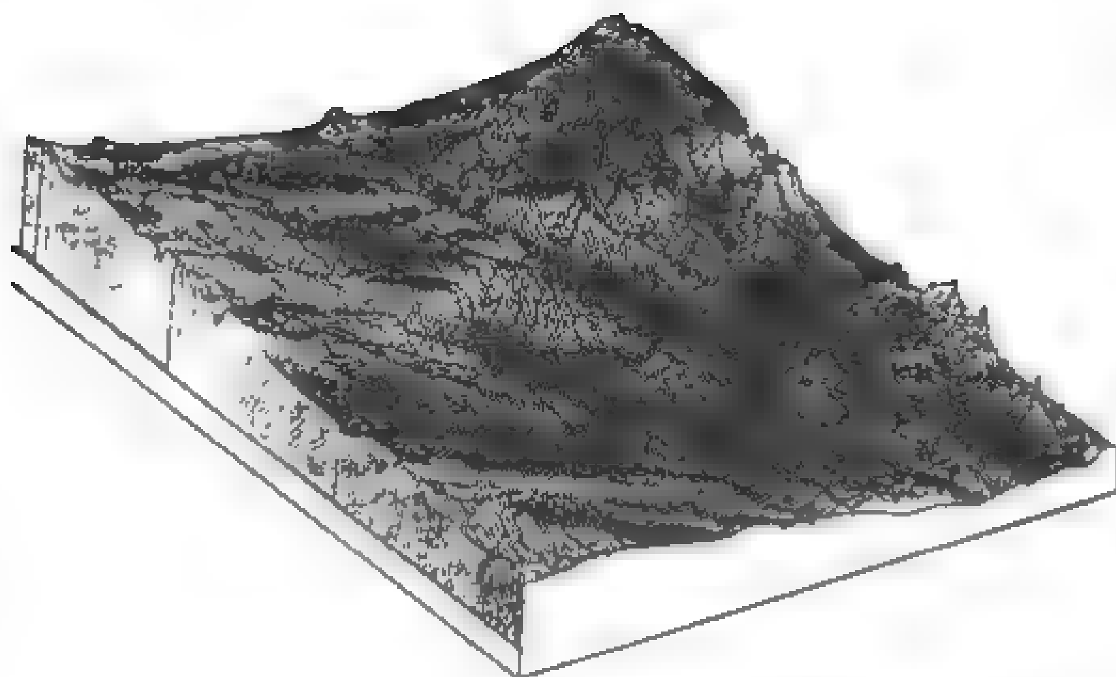


图1 13 三维地图

(册)。

(4) 按感受方式 可分为线划地图、数字地图、影像地图、缩微地图、荧光地图、触觉地图、多媒体声像地图等。

(5) 按历史年代 可分为古地图、历史地图、近代地图、现代地图。

本章提要

地图的基本特征是：遵循一定的数学法则，具有完整的符号系统，经过地图概括，是地理信息的载体。在此基础上形成了"地图"定义。

测制地图的方法主要可分为实测成图与编绘成图两大类。目前，运用计算机作为主要设备制作地图的技术及理论已比较成熟。

地图学的定义。

地图学在长期发展过程中，与许多学科有着密切的联系，不少学科对地图的发展有着重要影响，目前已形成了独立的学科体系。

我国优秀古今地图作品与理论，对世界地图学发展有着重要贡献和影响。国外悠久灿烂的地图成就和当代先进的地图理论、制图技术是人类的共同精神财富。有些优秀的早期地图作品，至今仍在为人们所采用。

现代地图学的主要理论有：地图信息论、地图信息传递论、地图感受论、地图符号论、地图模型论、地图认知论等。地图学属于信息科学。现已将地图信息传递论作为地图学的基本理论进行研究。

地图具有认识功能、模拟功能、信息的载负和传递功能，在经济建设、科研、国防及日常生活等众多领域有着广泛的用途。

地图有许多分类方法，其中常用的是按内容及比例尺分类。

复习思考题

1. 举例说明各种影像是如何不同程度具备地图的各项基本特征

2. 对照实际的应用，了解地图构成要素的内容

3. 讨论地图与地图学的定义，在理论与实践上有什么意义？

4. 地图学与地理信息系统、遥感技术、地理信息科学有什么关系？

5. 如何理解本章最后一段中"使地图学与相邻学科的学科界限变得模糊"的观点？

6. 我国有哪些具有代表性的优秀地图作品？

7. 我国古代有哪些著名的地图学家？他们有哪些主要贡献？

8. 何谓"制图六体"？试述其科学含义。

9. 为什么说地图学已进入信息科学范畴？信息时代对地图的制作和应用，以及理论研究有什么影响？

10. 现代地图学的理论研究对地图实践活动有何重要意义？

参考文献

1 卢良志.中国地图学史.北京:测绘出版社,1984.2

2 尹贡白等.地图概论.北京:测绘出版社,1991.12

3 田德森.现代地图学理论.北京:测绘出版社,1991.11

4 高俊.地图的空间认知与认知地图学.中国地图年鉴.北京:中国地图出版社,1991

5 廖克.国内外地图集的最新进展与发展趋势.中国地图年鉴.北京:中国地图出版社,1991

6 田德森.现代地图的发展与应用.地球信息,1997.4

7 吴忠性.关于地图学的定义和概念问题分析.地图,No.3,1992.8

8 田德森等.声像地图的研究及其实践意义.地理科学,Vol.14,No.4,1994.11

9 张力果等.地图学.北京:高等教育出版社,1990

10 A H 罗宾逊.地图学原理.第五版.北京:测绘出版社,1989

11 廖克等.地图概论.北京:科学出版社,1985.4

12 陈述彭.地学的探索.第二卷.北京:科学出版社,1990.7

13 J.MORRISON.八十年代地图学的大变革.地图,总第24期,1992.2

14 高俊.地图·地图制图学:理论特点与科学结构.地图,总1,2期,1986 5,8

15 F TAYLOR.地图学的概念基础:信息时代的新方向.地图,总第25期,1992.5

16 陆漱芬主编.地图学基础.北京:高等教育出版社,1986

第2章 地图的数学基础

地图的数学基础，是指使地图上各种地理要素与相应的地面景物之间保持一定对应关系的经纬网、坐标网、大地控制点、比例尺等数学要素。

为了解地图上这些数学要素是怎么建立起来的，首先必须搞清地球是一个怎样的形体。然后，便引出另一个问题：地球是圆的，地图是平的，究竟采取什么样的方法，才能将球面的景物精确地描绘到平面图纸上。这是地图学家要解决的第一个矛盾，从而引出了经纬网、坐标网和大地控制点的概念。而讨论这些内容的目的，是要解决球面上点位的坐标，与图面上相对应点位的坐标，如何建立起严格的一一对应的函数关系。这就是地图投影要回答的问题。

地图是地面景物的缩小表示。将地球表面的景物描绘到地图图面上，遇到的第二个矛盾是大与小的矛盾。要解决该矛盾，必须将地面景物依照一定的比率进行缩小表示。这就是比例尺所要解决的问题。

§1 地 球 体

1.1 地球的自然表面

大地是人类世代繁衍生息的场所，有关大地的形状问题早已引起人们的普遍关注。由于古代的科学技术不发达，人类对自己生活空间的认识曾相当局限。如早在我国春秋时期(公元前770—前476年)，就曾有“天圆地方说”，后来称之为“盖天说”(图2-1)。后汉时期的张衡(公元78—139年)创立了“浑天说”(图2-2)，提出了大地是球体的概念。古希腊学者托勒密在公元2世纪创立了“地心说”，也认为大地是个球形体，大地是宇宙的中心，其他星球均围绕大地运行。

但是，关于大地是球体的早期认识，应该归功于古希腊学者毕达格拉斯(Pythagoras，公元前580—前500年)和亚里斯多德(Aristotle，公元前384—前322年)，他们在两千多年前就确信地球是圆的。但直到公元前200年，才由古希腊学者埃拉托色尼具体量算出地球周长。

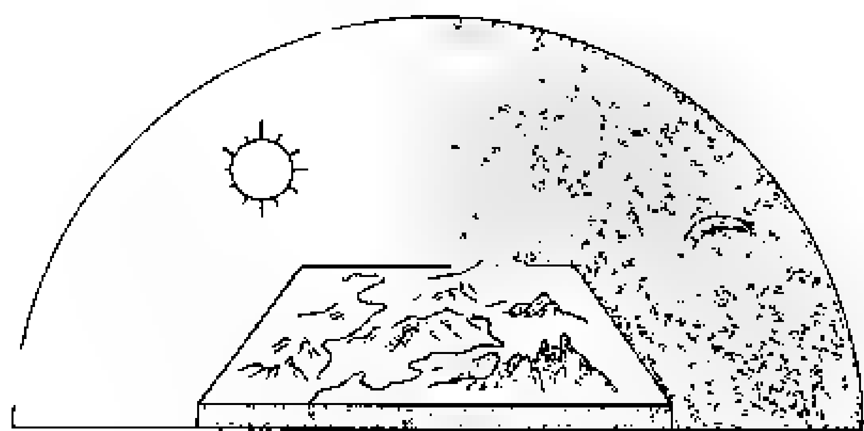


图2 1 盖天说

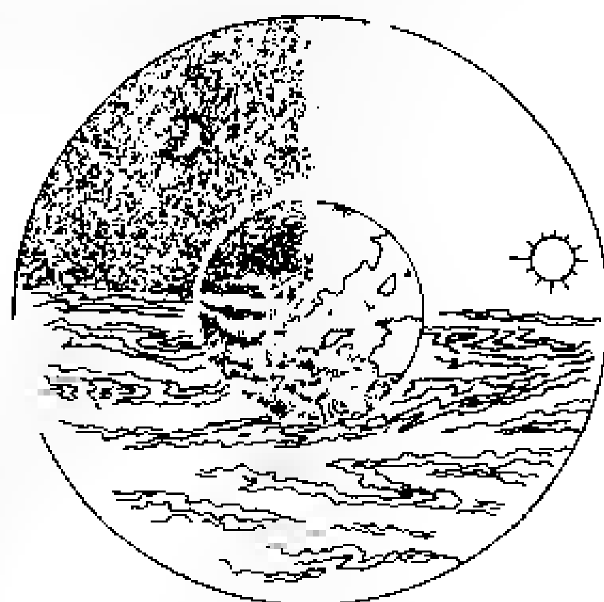


图2 2 浑天说

当年担任埃及亚历山大图书馆管理员的埃拉托色尼，注意到位于埃及南部的塞纳，在夏季的时候，中午时分的太阳可以直射到井底，而同一时刻在亚历山大，太阳却不是垂直照射的，太阳光线与垂线在地心处的夹角为 7°12′，这个角度为圆周的 1/50。接着埃拉托色尼测量了亚历山大与塞纳之间的距离约为 925km（5 000古希腊里），再乘以 50，即得地球周长46 250 km（250 000古希腊里）。但由于埃拉托色尼未注意到塞纳的地理纬度并不是 23°30′，而是 24°05′30″，因此夏至时分的太阳入射角小于 90°，也未注意到亚历山大与塞纳也不在同一条子午线上，因此测量结果难免有一定误差。

尽管这个结果，今天看来有一定误差，但按当时的科学水平，应该是相当精确的了。

从“天圆地方说”到如今利用人造地球卫星进行地球椭球体的精确测定，反映了这样一个事实：随着科学技术的进步，人们对大地形状的认识也在不断前进。时至今日，人们早已接受了地球是球体的结论，但是地球究竟是一个怎样的球体，却并不是所有人都能准确回答的。

为了更好了解地球的形状，首先让我们由远及近地观察一下地球的自然表面：从航天飞行器上观察地球表面，它似乎是一个表面光滑、蓝色美丽的正球体。再从飞机机舱的窗口俯视大地，展现在我们面前的大地表面，是一个极其复杂的表面。如果回到地面上，作一次长距离的野外考察，则能深刻体会到地球表面是那么的崎岖不平。

总而言之，地球的自然表面并非光滑。具体的测量结果得知：高耸于世界屋脊上的珠穆朗玛峰与太平洋海底深邃的马里亚纳海沟之间的高低之差竟有近 20km 之多。

同时，通过天文大地测量、地球重力测量、卫星大地测量等精密测量，都提供这样一个事实：地球并不是一个正球体，而是一个极半径略短、赤道半径略长，北极略突出、南极略扁平，近于梨形的椭球体。这里所谓的近于“梨形”，其实是一种形象化的夸张，因为地球南北半球的极半径之差仅在几十米范围之内，这与地球固体地表的起伏，或地球极半径与赤道半径之差都在 20km 左右相比，是十分

微小的 况且,已经有证据表明,这种"梨形"还不一定会长期保持下去

1.2 地球体的物理表面

由于地球的自然表面凸凹不平,形态极为复杂,显然不能作为测量与制图的基准面 因此,应该寻求一种与地球自然表面非常接近的规则曲面,来代替这种不规则的曲面。这种理想的规则曲面,是一个与静止海平面相重合的水准面,这个海平面应该是无波浪、无潮汐、无水流、无大气压变化,处于流体平衡状态的平面。假想以这个水准面作为基准面向大陆延伸,并穿过陆地、岛屿,最终形成了一个封闭曲面,这就是大地水准面

但事实证明,大地水准面仍然不是一个规则的曲面 因为,当海平面静止时,自由水面必须与该面上各点的重力线方向相正交,由于地球内部质量的不均一,造成重力场的不规则分布,因而重力线方向并非恒指向地心,导致处处与重力线方向相正交的大地水准面也不是一个规则的曲面。大地水准面实际上是一个起伏不平的重力等位面,即地球物理表面。

由大地水准面包围的形体称大地体,是一种逼近于地球本身形状的一种形体。可以称大地体是对地球形体的一级逼近。

定义出大地水准面的意义,主要在于以下几方面:

第一,由略微不规则的大地水准面包围的大地体,是地球形状的很好近似。它不仅表达了大部分自然表面的形状,而且大地水准面以上多出的陆地质量几乎就是陆地下缺少的质量。

第二,由于大地水准面包围的大地体表面存在一定的起伏波动,这对大地测量或地球物理学均具有研究价值,可应用重力场理论来进行研究。制图学中则可忽略不计,因为对所有制图业务,均可把地球当作正球体看待。

第三,由于大地水准面是实际重力等位面,因此人们才有可能通过测量仪器,获得相对于大地水准面的海拔高程。

1.3 地球体的数学表面

大地体是由大地水准面包围而成的,由于大地水准面是个不规则的曲面,因此它的表面仍然不能用数学模型定义和表达,必须寻求一个与大地体极其接近的形体来代替大地体。人们假想,可以将大地体绕短轴(地轴)飞速旋转,就能形成一个表面光滑的球体,即旋转椭球体,或称地球椭球体 地球椭球体表面是个可以用数学模型定义和表达的曲面,这就是我们所称的地球数学表面 地球椭球体表面可以称为对地球形体的二级逼近。

测量与制图工作将以地球椭球体表面作为几何参考面，将大地体上进行的大地测量结果归算到这一参考面上。

地球椭球体有长轴和短轴之分。长轴（a）即赤道半径，短轴（b）即极半径。$f=(a-b)/a$ 称为地球的扁率。

由此可见，地球椭球体的形状和大小取决于 a、b、f。因此，称 a、b、f 为地球椭球体三要素，或称描述地球形状与大小的参数。

a、b、f 的具体测定是近代大地测量工作的一项重要内容。由于实际测量工作是在大地水准面上进行，而大地水准面相对于地球椭球表面又有一定的起伏，并且重力又随纬度变化而变化，因此必须对大地水准面的实际重力进行多地、多次的大地测量，再通过统计平均来消除偏差，即可求得表达大地水准面平均状态的地球椭球体三要素值。

当求得地球椭球体三要素值之后，必须进一步通过数学方法实现对地球形体的二级逼近。即通过地球椭球体定位，将地球椭球体摆到与大地水准面最贴近的位置上，并且求地球椭球各点至大地水准面的投影距离 N 及垂线偏差 ϕ，进一步从数学上给出对地球形状三级逼近的大地水准面（图 2－3）。

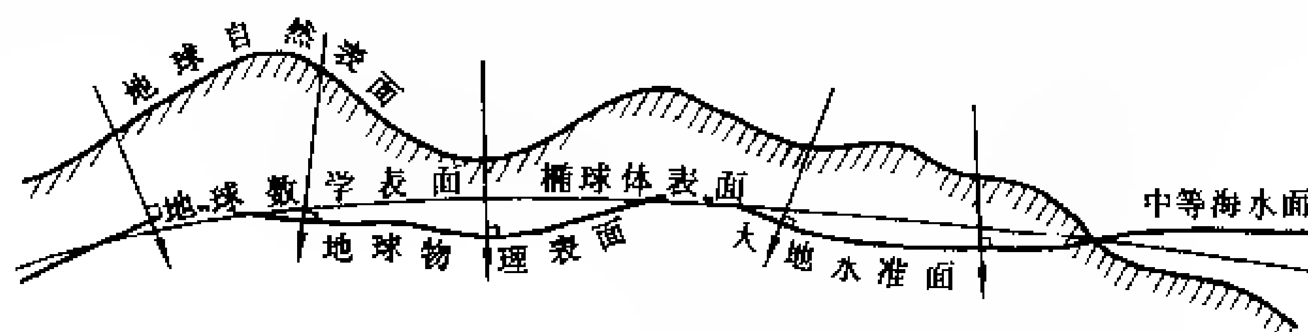


图 2－3 地球自然表面，大地水准面，地球椭球面

下面简单解释一下地球椭球体定位。在天文大地测量中，首先选取一个对一个国家比较适中的大地测量原点，并从此点出发通过事先布设的三角网点进行几何测量和天文经纬度测量，逐一求出各网点的 N 和 ϕ，再以上述的测量结果将事先设置的地球椭球面位置调整到最理想的位置上。这种定位，相对于全球而言，只能是局部定位。局部定位的地球椭球体，称为参考椭球体，国际上有多种大地测量原点和参考椭球（表 2－1）。

表 2－1 国际主要的椭球参数

椭球名称	年代	长半径 m	扁率	附注
德兰布（Delambre）	1800	6 375 653	1:334.0	法国
埃弗瑞斯（Everest）	1830	6 377 276	1:300.801	英国
白塞尔（Bessel）	1841	6 377 397	1:299.152	德国
克拉克（Clarke）	1866	6 378 206	1:294.978	英国
克拉克（Clarke）	1880	6 378 249	1:293.459	英国
海福特（Hayford）	1910	6 378 388	1:297.0	1942 年国际第一个推荐值

续表

椭球名称	年代	长半径 m	扁率	附注
克拉索夫斯基 Красовский	1940	6 378 245	1:298.3	苏联
1967年大地坐标系	1967	6 378 160	1:298.24	1971年国际第二个推荐值
1975年大地坐标系	1975	6 378 140	1:298.257	1975年国际第三个推荐值
1980年大地坐标系	1979	6 378 137	1:298.257	1979年国际第四个推荐值

我国在1953年前，使用海福特椭球参数，1953年后改用克拉索夫斯基椭球参数。1978年初，我国决定在西安对地球椭球体重新定位。但建立我国的参考椭球及相应大地网并不是一蹴而就，而要经过若干年大量的测算工作方能完成。

§2 地球坐标系与大地定位

地球表面上的定位精度问题，是一个与人类的生产活动与科学技术发展息息相关的重大问题。长期以来，人们一直在寻找一种精确的定位方法。因此，本节将讨论如何建立一个科学的球面坐标系统问题。

对球面坐标系统的讨论，应该先追溯平面坐标系统的产生及延伸。17世纪法国笛卡尔发明了一种代数关系的几何解释系统。利用这个坐标系统，可以精确地标定平面上任一点的位置，即平面上每一点只有一个与之相对应的 x，y 坐标值。笛卡尔坐标在几何学中的一些概念，同样适用于地球球面坐标系统，而且至今仍然用于展绘地图投影和计算机数字制图在数字化过程中点的定位。

关于球面坐标系统的建立，首先可以假想地球绕一个想象中的地轴旋转，轴的北端称为地球的北极，轴的南端称为地球的南极；想象中有一个与地轴相垂直的平面能将地球截为相等的两半，这个平面与地球相交的交线是一个圆，这个圆就是地球的赤道。我们将一个过英国格林尼治天文台旧址和地轴所组成的平面与地球球面的交线定义为本初子午线。以地球的北极、南极、赤道以及本初子午线作为基本要素，即可构成地球球面的地理坐标系统。

2.1 地理坐标

地球表面上任一点的坐标，实质上就是对原点而言的空间方向，通常通过纬度和经度两个角度来确定。

地理坐标，就是用经纬度表示地面点位的球面坐标。在大地测量学中，对于地理坐标系统中的经纬度有三种提法：天文经纬度、大地经纬度和地心经纬度。

1. 天文经纬度

在大地测量中常以天文经纬度定义地理坐标，天文经度，即为观测点天顶子午面与格林尼治天顶子午面间的两面角，或视为一个天体在上述两地的时角差。在天文学和大地测量学中，常用时间单位表示。天文经度在地球上定义，即本初子午面与观测点之间的两面角。天文纬度即赤纬，在地球上定义，即为铅垂线与赤道平面间的夹角。

2. 大地经纬度

通常在大地测量中，所有的观测值在概算时均应尽量改化到参考椭球面上。地面上任意点 A 的位置，可用大地经度 λ、大地纬度 φ 和大地高 h 表示。

大地经度 λ，即指参考椭球面上某一点的大地子午面与本初子午面间的两面角。通常由本初子午面向东西量度，向东 0°～180°为东经，向西 0°～180°为西经(图 2－4)。按规定，东经为正，西经为负。

大地纬度 φ，即指参考椭球面上某一点的垂直线(亦称法线)与赤道面的夹角。由赤道向南北两极量度，向北 0°～90°为北纬，向南 0°～90°为南纬。按规定北纬为正，南纬为负。大地经纬度构成的大地坐标系，在大地测量计算中广泛应用。

3. 地心经纬度

这里所谈的地心，即地球椭球体的质量中心。地心经度等同大地经度，地心纬度是指参考椭球面上任一点和椭球中心连线与赤道面之间的夹角。

由于实际工作的需要不同，考虑地球形状精确程度亦各异，因而便出现上述几种有关经纬度的提法。图 2－5 中，由 OP 定义的经纬度为地心经纬度；由椭球表面垂直线(或称法线)定义的经纬度为大地经纬度。但从前面关于天文经纬度的严格定义可以看出，天文经纬度只能在天球上定义，因为铅垂线既不过地心，通常也不与地轴共面，因而天文经度难以用两面角定义。由此可见，在大地

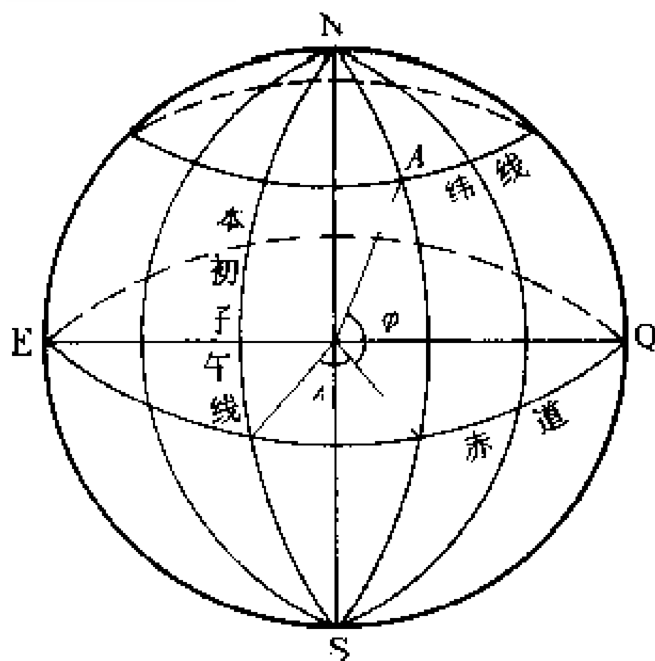


图 2－4 大地经纬度定义

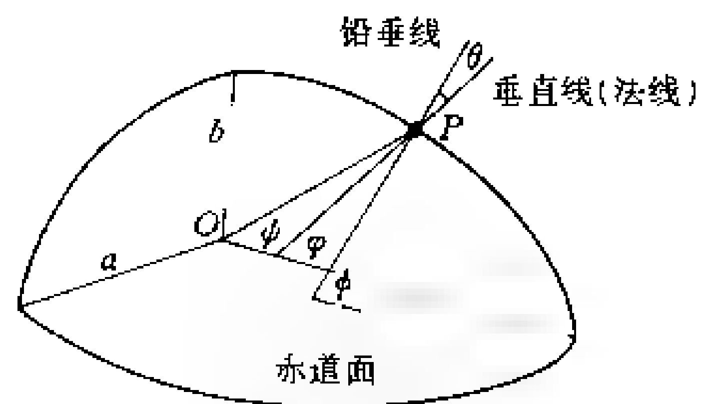


图 2－5 三种经纬度关系示意

经纬网上各点的天文经纬度和大地经纬度是不相同的。而天文经度及天文纬度相同点的轨迹,却呈现为在大地经纬线附近摆动的非平面曲线。由于 θ 通常很小,因而这种摆动也是很小的。

在大地测量学中,常以天文经纬度定义地理坐标。但在地图学中,认为以大地经纬度来定义地理坐标更好。因为天文经纬度定义的地理坐标,其经纬度的地面等值线均扭曲成非平面曲线。而以大地经纬度定义的地理坐标,是在规整的椭球面上构建的,每条经纬线投影到平面上皆呈直线或平滑曲线,因此便于地图投影。但由于各国采用的大地原点和大地经纬网坐标值皆以本国规定的参考椭球为基准,因而出现世界各国间的不一致性。为此,目前世界各国的地理经度均采用天文经度

在地理学研究及地图学的小比例尺制图中,由于要求的精度不高,通常将椭球体当成正球体看待,地理坐标均采用地球表面的球面坐标,经纬度均用地心经纬度

2.2 我国的大地坐标系统

1. 我国的大地坐标系

中华人民共和国成立初期,由于受当时条件所限,并没有按照参考椭球体定位理论,独立地建立适合我国具体要求的参考椭球及其大地坐标系统 自20世纪50年代一直延用到70年代的1954年坐标系,是以从当时苏联引进的克拉索夫斯基椭球体为参考椭球建立的。经过几十年的实践证明,使用克拉索夫斯基椭球体,已经不能很好地满足我国大地测量工作的要求。存在的主要问题,表现在以下几方面:

第一,克拉索夫斯基椭球体与1975年国际大地测量协会推荐的地球椭球(ICA 75椭球)相比,其长轴 a 约大105m。这样必然会给理论研究和实际工作带来诸多不便。

第二,克拉索夫斯基椭球面相对大地水准面,自西向东有较大的系统性倾斜。大地水准面差距最大可达+68m,并且出现在我国经济发达的东部沿海地区 这样必然给大地测量数据的归算工作带来麻烦。

第三,在处理重力测量资料中所常用的计算公式,也与克拉索夫斯基椭球不匹配

为了适应我国大地测量工作深入发展的需要,我国于1978年决定建立中国国家大地坐标系。1980年中国国家大地坐标系选用了1975年国际大地测量协会推荐的参考椭球,其具体参数为 $a=6\ 378\ 140\text{m}, f=1/298\ 257$、采用ICA 75椭球,可使几何大地测量与物理大地测量所使用的椭球一致起来。

1980年大地坐标的大地原点,设在我国中部西安市附近的泾阳县境内 由于大地原点在我国居中位置,因此可以减少坐标传递误差的积累

参考椭球体和大地原点确定之后,便可进行椭球体定位和精确测量大地原点坐标,进而再以大地原点坐标为基准,推算其他大地点坐标。应该重申 点:

不同国家由于采用的参考椭球及定位方法不同，因此同一地面点在不同坐标系中大地坐标值也不相同。

2 我国的大地控制网

在广袤的区域上进行测量与制图，不可能独家一次完成，必然要由许多单位分期分批完成。为了保证测量成果既在精度上符合统一要求，又能互相衔接，首先必须在全国范围内选取若干有控制意义的点，并且精确测定其平面位置和高程，构成统一的大地控制网。大地控制网，简称大地网，由平面控制网和高程控制网组成。

平面控制网，亦称水平控制网，一般可由三角测量或导线测量完成。三角测量方法建立平面控制网，是以大地原点为基础，在地面上选择一系列控制点，并建立起一系列相连接的三角形，组成三角锁和三角网。当已知大地原点坐标和以大地原点至邻近一大地点连线作为起始边的长度及方位角，即可实施三角测量。通过精确测定各三角形内角，利用正弦定理即可推算各三角形边长及三角形顶点坐标。三角测量为了达到层层控制的目的，由国家测绘主管部门统一布设了一、二、三、四等三角网。一等三角锁，是全国平面控制的骨干，由近于等边的三角形构成，边长 20～25km，布设形式基本按经纬线方向，每个锁段长约 200km，锁段内的三角形一般为 16～20 个(图 2-6)，一等三角测量的精度最高。在一等三角锁内布设二等三角网，实际上二等三角网是在一等三角锁基础上扩展的，三角形平均边长 13km，这样可以保证在测绘 1:10 万、1:5 万地形图时，每 150km² 内有一个大地控制点，即每幅图内不少于 3 个大地控制点。在二等三角网的基础上进一步插补三等三角网或点，三等三角网点密布全国，三角形平均边长约 8km，这样可以保证 1:2.5 万测图时，每 50km² 内有一个大地控制点，即每幅图内有 2～3 个控制点。四等三角网点往往由测量实施单位自行布设，边长约 4km，可以保证在 1:1 万测图时，每点可以控制 20km²，即每幅内有 1～2 个控制点。

导线测量，是把各个控制点连接成连续的折线，然后测定这些折线的边长和转角，最后根据起算点的坐标和方位角推算其他各点坐标。导线测量有两种形式：从一个高等级控制点出发开始测量，最后再回到这个控制点，形成一个闭合多边形，称为闭合导线；当导线从一个高等级控制点开始测量，最后附合到另一个高等级控制点，则称为附合导线。作为国家控制网的导线测量，也可分为一、二、三、四等。通常将一、二等导线测量称为精密导线测量。

一等导线主要沿交通干线布设，构成纵横交叉的导线环，环长一般为 1 000～2 000km，几个导线环构成导线网。导线网与一等三角锁妥善衔接，构成统一的控制网。二等导线布置在一等导线环或一等三角锁内，周长 500～1 000km。在测量条件特殊困难地区，可用精密导线测量代替一、二等三角测量，组成三角

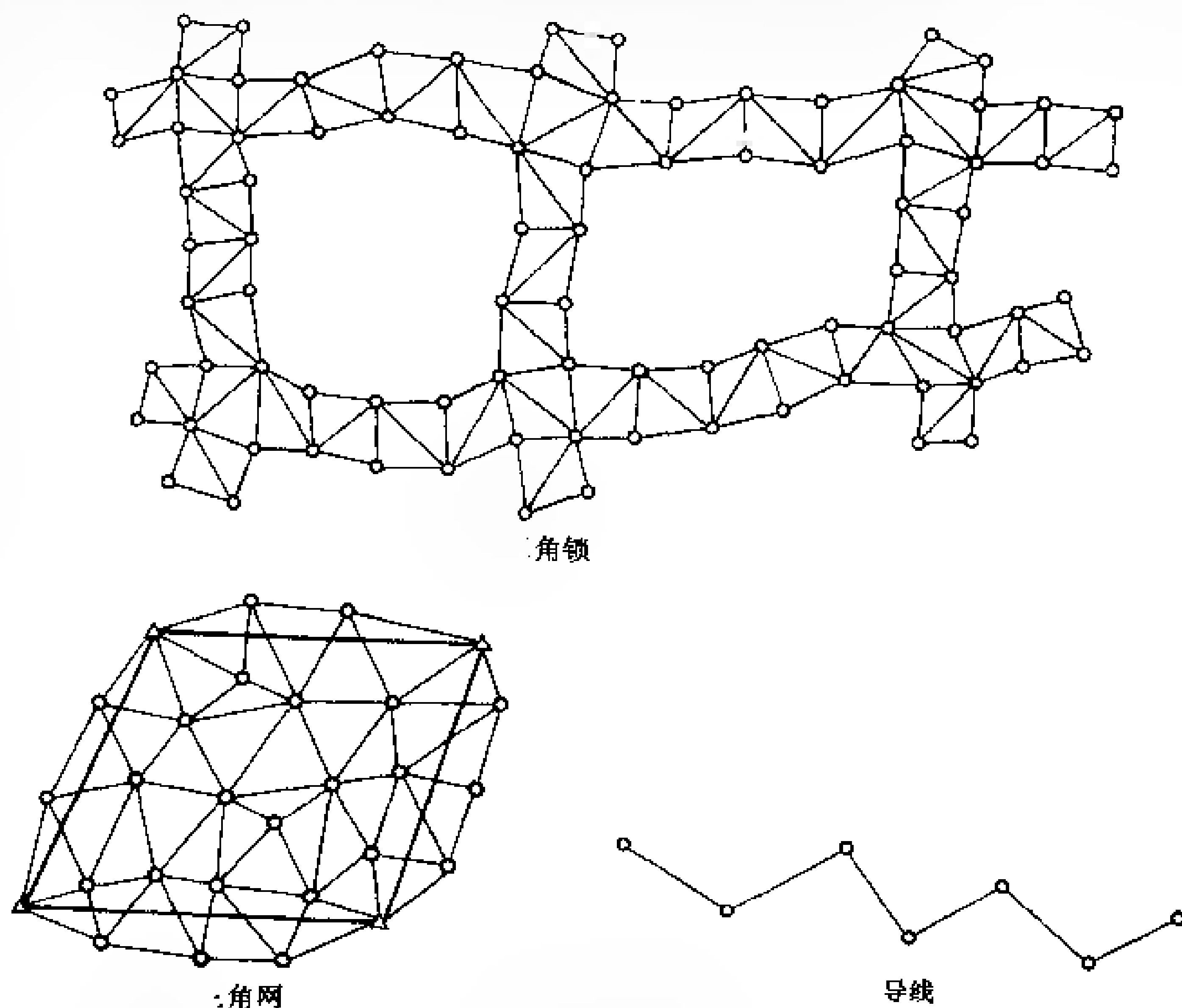


图2－6　三角锁、三角网示意图

导线联合网，作为国家大地网的基础

地面点除了用地理坐标来确定其平面位置外，同时还要确定其高程位置。表明地面点高程位置的方法有两种：一种是绝对高程，即地面点对大地水准面的高度。由于大地水准面即平均海平面，因此通常也将绝对高程称为海拔；另一种是相对高程，即地面点对任一水准面的高度。

高程控制网，是在全国范围内按统一规范，由精确测定高程的地面点所组成的网，是全国测定其他所有地面点高程的控制基础。建立高程控制网的目的，是为了精确求得地面点对大地水准面的高度。建立高程控制网的方法，主要由水准测量来完成。水准测量方法，是借助仪器所提供的水平视线来测定两点间的高差。如图2－7所示：

两点间高差 $h=a-b$，设 H_1 为已知点 A 的高程，则待求点 B 的高程 $H_2=H_1+h$

在地面通行条件特殊困难，难以实施水准测量的山区，高程控制网点的高程可用三角高程测量方法来完成。三角高程测量，是根据三角原理求得两点间高差的一种方法。如图2－8所示，B 点对 A 点的高差 $h=S\tan\alpha+i-h_2$。由于受

大气折光差和垂直偏差的影响，三角高程测量的精度低于水准测量

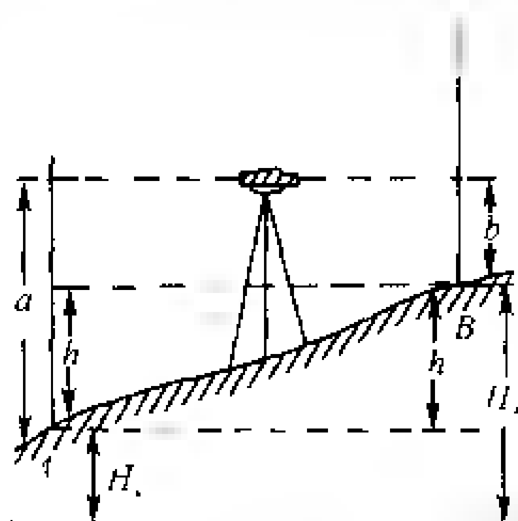


图2-7 水准测量示意

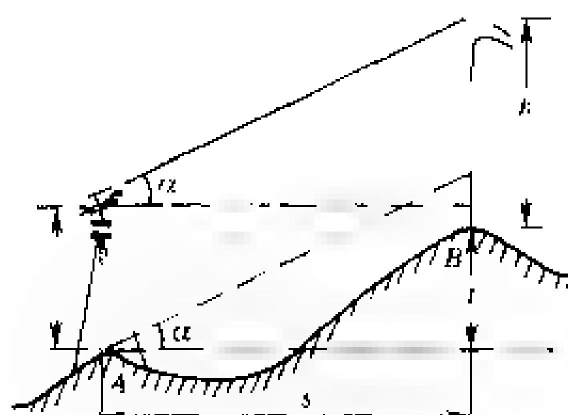


图2-8 三角高程测量示意

为了使一个国家的高程测量工作在广袤的区域里能够统一起来，必须规定一个统一的高程起算基准面。世界各国均有各自的高程起算基准面。但在解放前，全国却有十几个高程起算基准面，造成了测量成果互不衔接。新中国成立后，利用青岛验潮站1950—1956年观测记录，确定以黄海平均海平面作为全国统一的高程起算基准面，并且在青岛观象山埋设了永久性的水准原点。水准原点的高程是以青岛验潮站平均海平面为零点，经过精密水准测量进行连测而得。以黄海平均海平面建立起来的高程控制系统，通称"1956年黄海高程系"。1987年国家测绘局公布：中国的高程基准面启用"1985国家高程基准"，取代原国务院批准启用的"黄海平均海平面"。"1985年国家高程基准"比"黄海平均海平面"高29mm

我国国家测绘管理部门，根据统一确定的高程起算基准面，在全国布设了一、二、三、四等水准网，作为全国高程控制网，以此作为全国各地实施高程测量的控制基础。全国高程控制网水准路线的布设：一等水准路线是国家高程控制骨干，一般沿地质基础稳定、交通不甚繁忙、路面坡度平缓的交通路线布设，并构成网状；二等水准路线，沿公路、铁路、河流布设，同样也构成网状，是高程控制的全面基础；三、四等水准路线，直接提供地形测量的高程控制点。

2.3 全球定位系统

全球定位系统，原文为Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System，或简写为Global Positioning System。现通用以缩写GPS来代替。GPS是以人造卫星为基础的无线电导航系统，可为航空、航天、海洋、陆地等用户提供高精度、实时、全天候、全球性三维坐标的导航、定位、定时服务

GPS卫星导航系统，共包括三大部分：GPS卫星星座（空间部分）、地面监控系统（地面控制部分）、GPS信号接收机（用户设备部分）。

GPS卫星星座，由24颗卫星组成，分布在6个等间隔的轨道上，各轨道交角为60°（图2-9）。每个轨道面上的卫星比西边相邻轨道平面上的相应卫星超前30°。在20 200km高空的GPS卫星，当地球自转360°时，它们绕地球运行两周，即几乎12h绕地球运行一周。对于地面测站而言，每天提前4min见到同一颗GPS卫星，见到卫星在地面上运行的时间为5h左右。位于地平线上的卫星颗数，随着时间和地点的不同而异，最少能见到4颗，最多可见到11颗，一般情况下可见到4～9颗。在运用GPS信号进行导航定位时，解算每个站点的三维坐标，必须同时观测4颗GPS卫星，接收由GPS卫星发出的C/A码（粗码）和P码（细码），因而称这些GPS卫星为定位星座。由于4颗卫星构成的几何图形不同，有时只能提供定位精度较低的点位坐标。因而，将这种时间段，称为间隙段，这种间隙段的出现比较短暂，对全球大多数地方而言，还是能够实现全天候、高精度、连续的导航、定位、定时的。

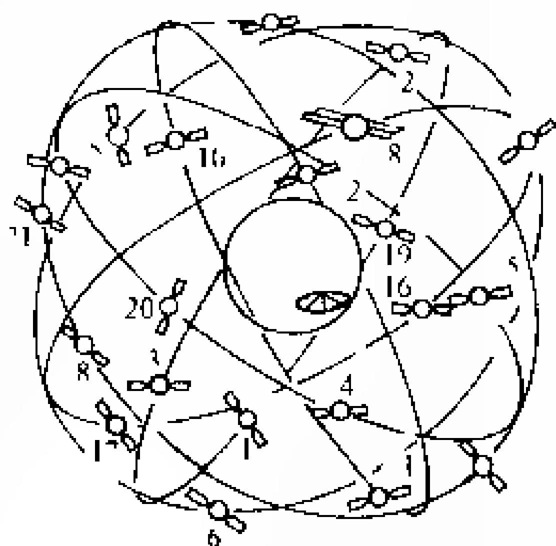


图2-9　GPS工作卫星星座

地面监控系统，包括1个主控站、3个注入站和5个监测站。主控站担负的功能包括：收集各监测站测得的伪距和多普勒观测值、气象要素、卫星时钟、卫星工作状态等数据，及时计算每颗GPS卫星的星历、时钟改正、状态数据、信号的大气改正，并按一定格式编写成导航电文传送到注入站。GPS卫星导航系统注入站的主要功能是接收地面监控系统注入的导航电文，然后再注射给卫星，每天注射一次，每次注射14天的星历，并存入卫星的存储器。因此即使地面监控系统停止注入，卫星仍能继续发送导航电文14天。监测站的主要任务是为主控站编算导航电文提供观测数据。每个监测站均有GPS信号接收机，对每颗可见卫星每6s进行一次伪距测量、多普勒观测及采集气象要素等。监测站是一种无人值守的数据采集中心，它在主控站遥控下自动采集定轨数据，并对它们进行各种改正，每15min平滑一次数据，并依此推算出每2min间隔的观测值，然后再发送给主控站。

GPS信号接收机，是一种能够对GPS卫星发送的导航定位信号进行接收、跟踪、变换和测量的接收设备。由于使用目的不同，用户对接收机的要求也不同。尽管GPS接收机有多种多样，但可归为以下两大类：

静态定位类型，是指用户天线在跟踪GPS卫星过程中固定不变，接收机高精度地测量GPS信号的传播时间、GPS卫星在轨的已知位置，从而算得固定不动的用户天线三维坐标的一种装置。静态定位装置，主要用于静态定位。静态定

位是指待定点相对于周围的地物是一个固定点,没有可察觉到的运动,或虽有可察觉的运动,但运动非常缓慢,乃至在一次观测中无法发现。也就是说,待定点在每次 GPS 资料处理时,它在地面固定坐标系中的位置,可以认为是不变的。

动态定位类型,是一种安装在车辆、船、飞机等运动载体上,利用接收到的 GPS 信号,测定运动物体运动轨迹的一种 GPS 信号接收装置。根据动态定位精度不同,又可将动态定位分为 20m 左右低精度的,5m 左右中等精度的,以及 0.5m 左右高精度的几种。实际上导航是一种广义的动态定位,它与静态定位的主要区别是它侧重于引导,一般要求测定 7 维状态参数(时间及三维位置、三维速度、时间)。

GPS 的应用开发表明,除了军事目的以外,它更加广泛应用于科研和生产实践,特别是测绘和地学领域。利用 GPS 可以进行全球性的动态参数测量和全国性大地控制网测量。此外,如建立陆地海洋大地测量基准,进行海岛与陆地联测定位,实现海洋国土的精确划界,监测地球现代板块运动,捕获地震及火山爆发信息,监测地球固体潮、地极移动、地壳变形、地球自转速度变化、海平面变化,测定航空航天摄影瞬时相机位置,工程项目建设、施工、验收、监测等。甚至有人推测,在不久的将来能够实现无需大地测量控制点的大中小比例尺的航测快速成图。由于 GPS 的建成和开发应用,也促使 GPS 全球大地测量学的应运而生,使其成为空间大地测量学的一个新的分支,并能更加精确地测量地球和描述地球。同时也必将在海陆空广阔的领域内捕捉更多的科学信息,进一步促进地球动力学、地球物理学、天体力学、空间物理学、载人航天技术等科学的发展。

§3 地 图 投 影

3.1 地图投影的意义

将地球椭球面上的客观世界表现在有限的平面上,必须经过一系列转换。其中,实现由球面到平面的转换最为主要。

由于地球椭球面是不可展曲面,不可能用物理的方法将它展成平面。因为那样必然会使曲面产生褶皱、拉伸或断裂等无规律变形,很显然无法在这种平面上绘制科学、准确的地图。经历代地图学家和数学家多年探索,所创立的地图投影这种数学方法,能够实现由地球椭球面向地图平面的科学转换。

地图投影,就是按照一定数学法则,将地球椭球面上的经纬网转换到平面上,使地面点位的地理坐标(φ,λ)与地图上相对应的点位的平面直角坐标(x,

y)或平面极坐标(δ,ρ)间,建立起一一对应的函数关系。投影通式可以表达为:

$$\left.\begin{array}{l} x = f_1(\varphi,\lambda) \\ y = f_2(\varphi,\lambda) \end{array}\right\} \qquad (2-1)$$

倘若设法能够建立 x,y 与 φ,λ 之间的函数关系,那么只要知道地面点的经纬度(φ,λ),便可以在投影平面上找到相对应的平面位置(x,y),这样就可以按一定的制图需要,将一定间隔的经纬网交点的平面直角坐标计算出来,并展成经纬网,构成新编地图的控制骨架。根据地图投影理论,采用不同的投影方法,可以得出不同的控制骨架,即不同的经纬网格。

地图投影的概念对于地图用户是重要的,这里的地图用户,指的是将地图作为专业研究的重要工具和研究成果表达手段的科技工作者。只有具备一定的地图投影知识,比如了解各种常见地图投影变形性质、变形分布规律及具体应用范围等,才能够正确选择和使用地图。

3.2 地图比例尺

要把地球表面多维的景物和现象描写在二维有限的平面图纸上,必然遇到大与小的矛盾。解决矛盾的办法就是按照一定数学法则,运用符号系统、经过制图概括,将有用信息缩小表示。为了使地图的制作者能按实际需要的比例制图,也为了使地图的使用者能够了解地图与制图区域之间的比例关系,以便用图,在制图之前必须明确制定制图区域缩小的比例,在成图之后也应在图上明确表示出缩小的比例。

特别应该指出,由于地图投影的原因,会造成地图上各处的缩小比例的不一致性,因此,进行地图投影时,应考虑地图投影对地图比例尺的影响。

电子地图出现后,传统的比例尺概念发生新变化。在以纸质为信息载体的地图上,地图内容的选取、概括程度、数据精度等都与比例尺密切相关,而在计算机生成的屏幕地图上,比例尺主要表明地图数据的精度。屏幕上比例尺的变化,并不影响上述内容涉及的地图本身比例尺的特征。

1. 地图比例尺的含义

首先应该指出,在传统地图上所标明的缩小比率,都是指长度缩小的比率。下面分几种情况,讨论地图比例尺的概念。

当制图区域比较小、景物缩小的比率也比较小时,由于采用了各方面变形都比较小的地图投影,因此图面上各处长度缩小的比例都可以看成是相等的。在这种情况下,地图比例尺的含义,具体指的是图上长度与相应地面之间的长度比例,即 $L/D=1/M$。式中 L 代表图上距离,D 代表与 L 相对应的地面距离。L 与 D 均化为同一长度单位,通常将分式中的分子即图上距离作为1,分母即地面距

离与对应图上距离的倍数。L、D、M 三个量，当知道其中任意两个量，则第三个量便可求得。

例如：在 1:10 000 图上，量得两点间距离为 15cm，则实地地面距离 $D=15\text{cm}\times 10\,000=150\,000\text{cm}$（即 1.5km）。又如：测得地面距离 1 250m，求在 1:5 万图上的距离是多少？根据 $L/D=1/M$ 关系式，则图上距离 $L=1\,250\text{m}/50\,000=0.025\text{m}$（即 2.5cm）。因此，在通常情况下，地图使用者可以用地图上注明的比例尺，在图上进行各种量算。

而当制图区域相当大，制图时对景物的缩小比率也相当大时，在这种情况下所采用的地图投影比较复杂，地图上的长度也因地点和方向不同而有所变化。在这种地图上所注明的比例尺含意，其实质指的是在进行地图投影时，对地球半径缩小的比率，通常称之为地图主比例尺。地图经过投影后，体现在地图上只有个别的点或线才没有长度变形。换句话说，只有在这些没有变形的点或线上，才可以用地图上注明的主比例尺进行量算（原理见后节）。

因此，作为用图者，切不可随意在小比例尺地图上，用地图上提供的主比例尺进行各种图上量算，尤其不可随意进行长度量算。同时，作为地图制作者，为避免用图者误解，也不宜在这种图上使用直线图解比例尺。

由于世界各国国土面积大小不同，使用的长度单位也不尽统一，因此各国地图有各自的比例尺分级系统。解放后，根据我国的国情和幅员辽阔这一特点，结合国防军事与国民经济建设中的用图经验，制订了我国地图比例尺的分级系统。大于或等于 1:10 万的地图，称为大比例尺地图；小于 1:10 万至大于 1:100 万的地图称为中比例尺地图；小于或等于 1:100 万地图，称为小比例尺地图。

2. 地图比例尺的表示

传统地图上的比例尺通常有以下几种表现形式：数字式比例尺、文字式（又称说明式）比例尺、图解式比例尺。

（1）数字式比例尺　可以写成比的形式如：1:10 000、1:25 000、1:50 000 等；亦可以写成分式形式如：1/10 000、1/25 000、1/50 000 等。

（2）文字式比例尺　分两种：一种是写成“一万分之一”、“五万分之一”、“百万分之一”等；另一种是写成“图上 1 厘米等于实地 1 千米”、“图上 1 厘米等于实地 10 千米”等。

（3）图解比例尺　可分为直线比例尺、斜分比例尺和复式比例尺。

直线比例尺　是以直线线段形式标明图上线段长度所对应的地面距离（图 2-10）。

斜分比例尺　又称微分比例尺，是一种根据相似三角形原理制成的图解比例尺（图 2-11）。利用这种斜分比例尺，可以量取比例尺基本长度单位的百分

之一。例如比例尺基本长度单位为2cm,在1∶50 000图上代表1km。如果在图上量取1.57长度单位,它的实地距离为1.57km。

以上介绍的几种比例尺形式,主要用于大中比例尺地图。而在小比例尺地图上,由于投影的原因使各条纬线(或经线)变形不同,因而不能用上述直线或斜分比例尺量算。为了便于在小比例尺地图上进行长度方面的简单量算,

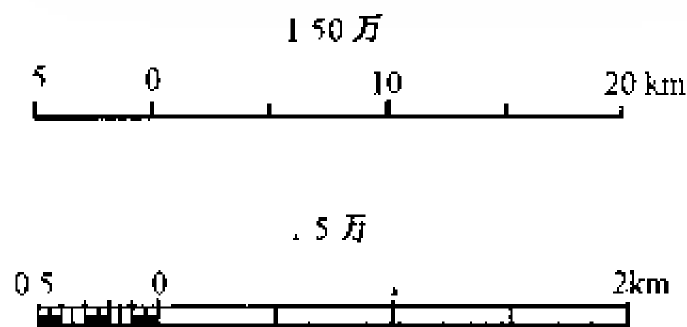


图2－10 直线比例尺

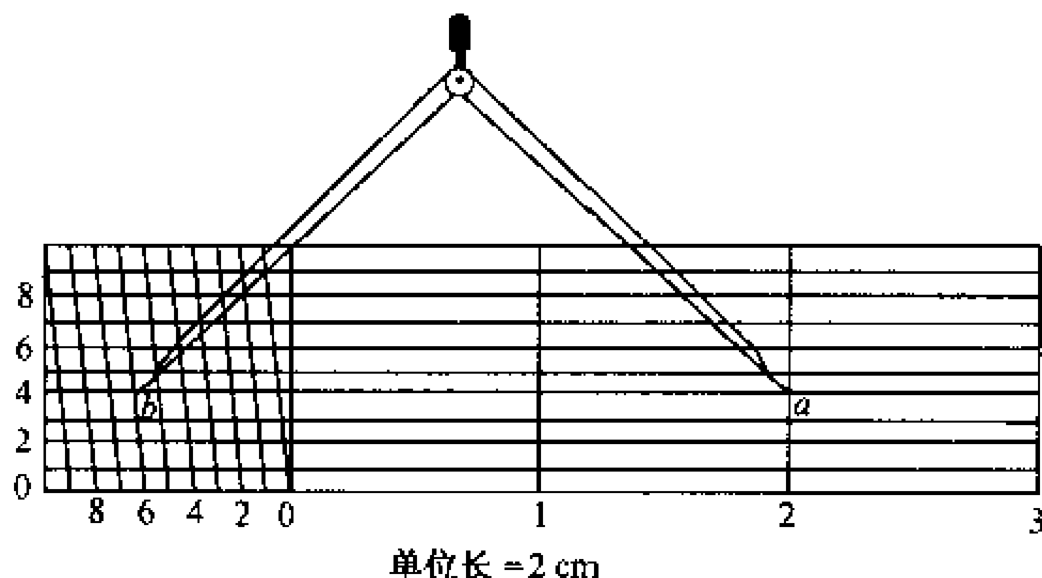


图2－11 斜分比例尺

往往在小比例尺地图上设计一种复式比例尺。

复式比例尺 又称投影比例尺,是一种根据地图主比例尺和地图投影长度变形分布规律设计的一种图解比例尺。在小比例尺制图中,地图投影引起的种种变形中,长度变形是主要的变形。因此不仅要设计适用没有变形的点或线上的地图主比例尺,同时还要设计能适用于其他部位量算的地图局部比例尺。通常是对每一条纬线(或经线)单独设计一个直线比例尺,将各直线比例尺组合起来就成为复式比例尺,如图2－12所示。这种复式比例尺实际上是一种纬线比例尺。

(4) 特殊比例尺 地图比例尺除上述几种传统表现形式外,还有两种特殊的表现形式:

变比例尺 当制图的主区分散且间隔的距离比较远时,为了突出主区和节省图面,可将主区以外部分的距离按适当比例相应压缩,而主区仍按原规定的比例表示。例如旅游景区比较分散的旅游图,或街区有飞地的城市交通图等,就可用变比例尺表示。另外,还可出于保密原因或某种政治目的,将制图区域内部有些景物之间的比例关系,人为地加以改变,也是变比例尺具体的应用。

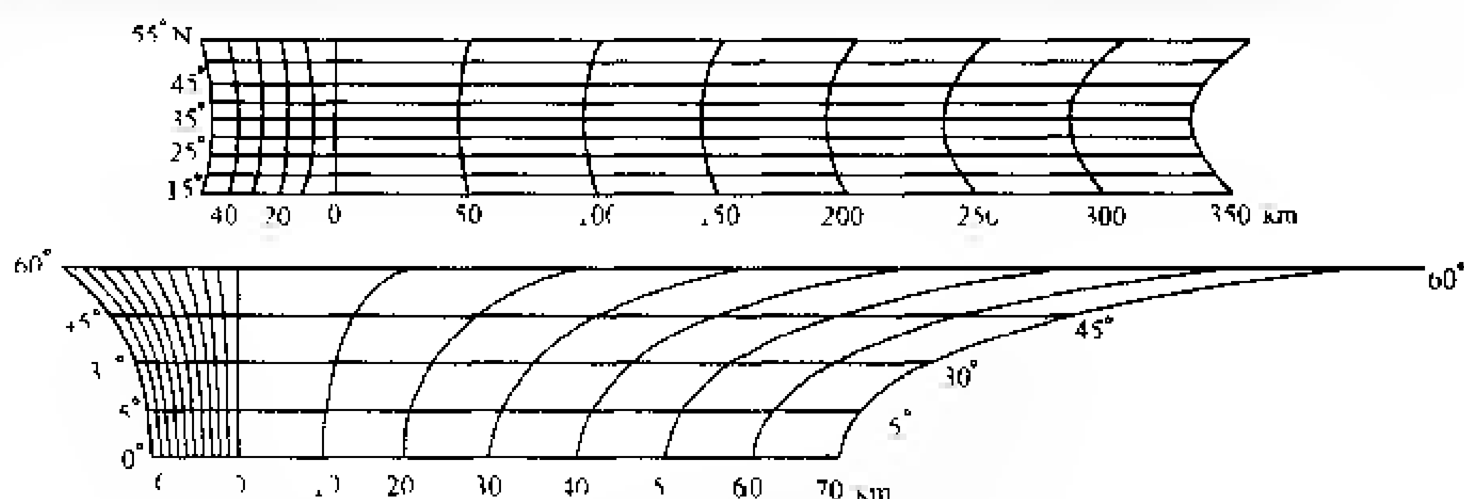


图2-12 复式比例尺

无级别比例尺 这是一种随数字制图的出现而与传统的比例尺系统相对而言的一个新概念,并没有一个具体的表现形式。就传统制图而言,比例尺是地图的数学基础之一,当地图的用途确定之后,地图比例尺是地图精度和内容详尽程度的决定因素。但在数字制图中,由于计算机或数据库里可以存贮物体的实际长度、面积、体积等数据,并且根据需要可以很容易按比例任意缩小或放大这些数据,因此没有必要将地图数据固定在某一种比例尺上。这里应该明确,数字制图并不是不考虑地图比例尺的概念。因为在数字制图的资料搜集时,人们非常注意这些数据来源于何种比例尺、精度和详细程度如何。从这里可以看出,比例尺的概念为数字制图数据的使用提供了方便。不过,数字地图的确不同于传统的纸质地图,因为它不必按比例尺系统来搜集地图数据。例如:从 1:5 000 地图上获取的数据,在制图概括、图形处理技术方法进一步完善的条件下,它可以生成任一级别比例尺的地图。所以,可以把贮存数据的精度和内容详细程度都比较高的地图数据库,称为无级别比例尺地图数据库。

3.3 地图投影变形

1. 投影变形的概念

人们在使用地图过程中都会发现,同是地球表面上的经纬网,但在不同地图上却表现为不同形式。同是一个大陆或一个区域,在不同地图上则往往表现出明显的形状差异。这就是地图投影所引起的变形的具体表现。

在讨论地图投影概念时,我们知道,采用地图投影的方法,可以使平面与球面之间保持一一对应的函数关系,解决由球面向平面的转换。但应该明确的是,这里强调的只是二者之间保持一种对应的函数关系。其实,经过投影后并不能保持平面与球面之间在长度(距离)、角度(形状)、面积等方面完全不变。只不过根据具体用图目的、表现区域和内容特点等,在长度、角度、面积几种变形中,选择一种,并令其不变形,或者虽有几种变形,但变形值相对不至于过大而

已[1]

为了进一步理解上述的事实，我们不妨观察一下地球仪的经纬网及所构成的球面梯形，探究其长度、角度及面积特征。首先观察地球仪上经纬线的长度特征：第一，纬线长度不等，赤道最长，纬度愈高其长度愈短，到极点为0；第二，同一条纬线上，经差相同的纬线弧长相等；第三，所有的经线长度相等；第四，在同一条经线上，纬差相同的经线弧长相差不大（在正球体上完全相等，在椭球体上由赤道向两极逐渐增长）。下面再观察一下地球仪上经纬网构成的球面梯形面积特征：第一，同一纬度带内，经差相同的球面梯形面积相等；第二，同一经度带内，纬度愈高球面梯形面积愈小。最后再观察一下经线与纬线的相交关系，即经线与纬线处处都呈直角。

当观察完地球仪上的经纬网特征之后，再将地图上的经纬网与地球仪上的经纬网相比较，便会发现，球面经纬网经过投影之后，其几何特征受到扭曲，产生了地图投影变形，如图2－13所示，两种投影图上的北美轮廓有着明显的差异。地图投影变形具体表现为以下三个方面：长度（距离）、角度（形状）、面积。

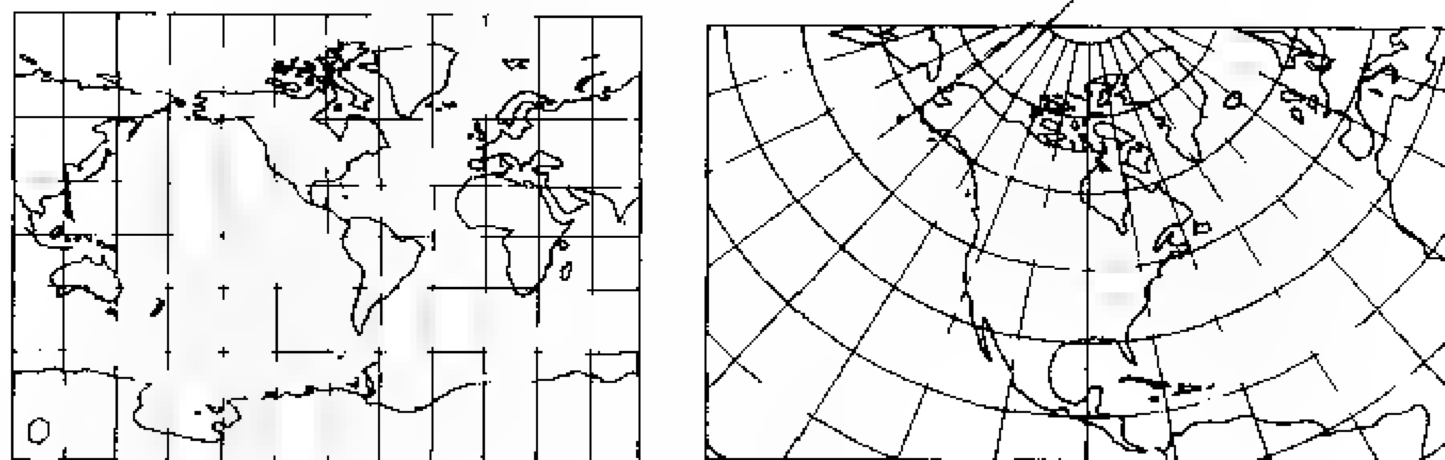


图2－13 地图投影变形

2. 变形椭圆

为了更好地说明地图投影的变形特性，通常需要引入变形椭圆的概念。

变形椭圆 取地面上一个微分圆（微分圆的面积小到可以忽略地球曲面的影响，即可将它作为平面看待），将它投影后变为椭圆（除个别为正圆外，一般皆为椭圆），通过研究其在投影平面上的变化，作为地图投影变形的几何解释，这样的椭圆称为变形椭圆。利用变形椭圆的图解及理论能更为科学和准确地阐述地图投影变形的概念、变形的性质及变形大小。

为了解地面上的小圆在投影后如何变为椭圆，我们可设计一个演示实验：取一用钢丝焊接成的半球经纬网模型，并在经纬网模型的极点及同一条经线上安置几个等大正圆形的小圆环。然后使经纬网模型极点与投影面相切，再将点光源设置在经纬网的球心，照射经纬网模型（图2－14）。这时，在投影面上便会出现投影后的经纬网及小圆投影成椭圆的影像。这样便可以通过投影面上椭圆的

长短轴与半球经纬网上小圆的直径进行比较，观察其长度变形；通过椭圆的形状与小圆形状比较，观察其角度变形；通过椭圆的面积与小圆的面积比较，观察其面积变形。此实验如果通过计算机在屏幕上进行演示，可以更加方便、直接地获得计算结果。

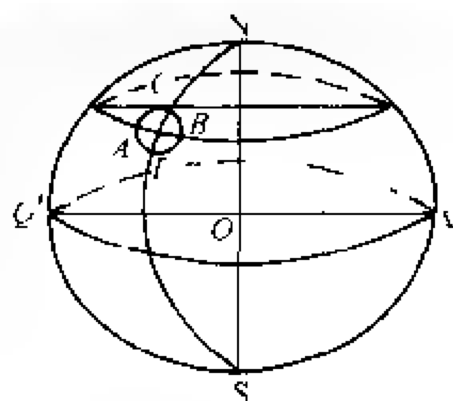


图 2－14 经纬网模型

用几何方法也可证明地面上微分圆投影后是如何变成椭圆的。图 2－15a 中，$ADBC$ 为地面上的微分圆如图所示，以经线 CD 和纬线 AB 为直角坐标的 X 轴和 Y 轴，圆上任一点 M 的平面直角坐标为 x、y；投影后，微分圆 $ADBC$ 投影成椭圆 $A'D'B'C'$，M 投影成 M'，M' 点的坐标投影成 $x'y'$（图 2－15b）

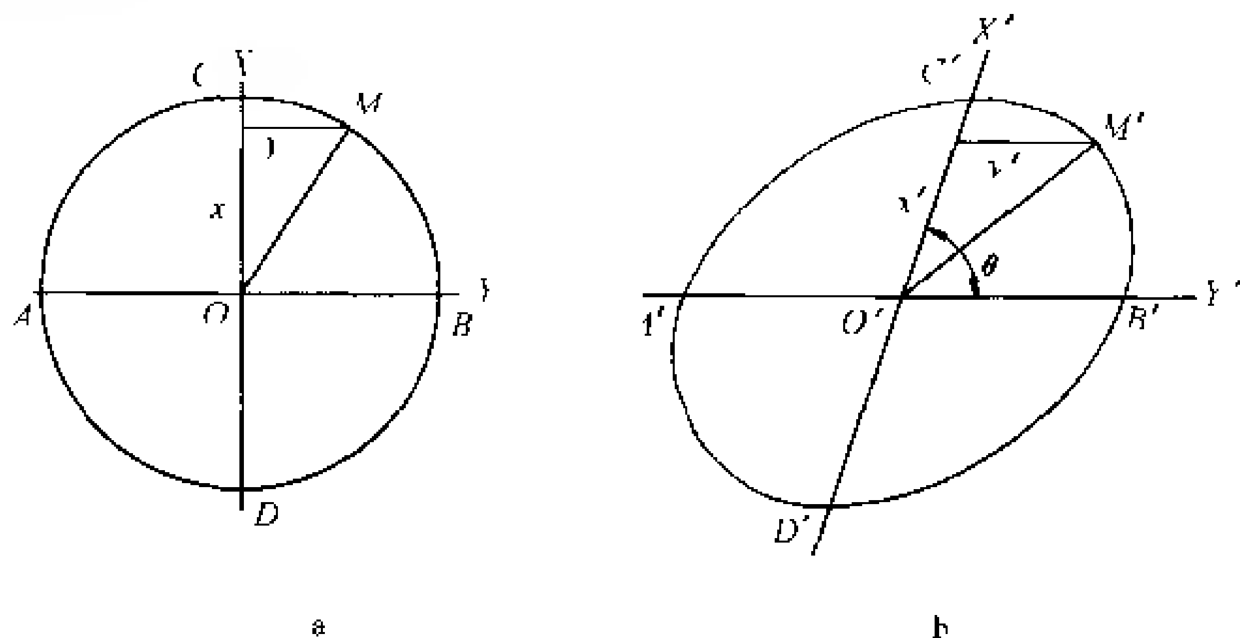


图 2－15 微分圆投影成微分椭圆

现设 m、n 分别为 OC 方向和 OB 方向的长度比（即经线长度比和纬线长度比），则：

$$x' = mx, \qquad y' = ny$$

$$x = \frac{x'}{m}, \qquad y = \frac{y'}{n} \tag{2-2}$$

设在地面上的微分圆半径 $r=1$，则 M 点的圆方程为 $x^2+y^2=1$，将 x、y 值代入（2－2）式，得：

$$\left(\frac{x'}{m}\right)^2 + \left(\frac{y'}{n}\right)^2 = 1 \tag{2-3}$$

该方程即为以 O' 为原点，以投影后交角为 θ，经纬线为两共轭直径的斜坐标椭圆方程。由此便证明，圆投影后成为椭圆。

3. 投影变形的性质和大小

利用变形椭圆的理论可检验地图投影变形的性质和变形的大小。

(1) 长度比与长度变形　长度比 μ，是指地面上微分线段经过投影后的长

度 ds' 与其原有长度 ds 之比值。用公式表达，即：

$$\mu = \frac{ds'}{ds} \tag{2-4}$$

在地图上，长度比与地图比例尺并不是一个概念。在§3.2曾经介绍过，地图上所标注的比例尺，是地图的主比例尺，它是标明地图投影之后地球缩小的比率。而长度比是一个变量，它在地图上因不同地点，或因同一地点上的不同方向而变化。实际上，在研究投影过程中，我们只研究特定方向上的长度比，即最大长度比(a)和最小长度比(b)，或经线长度比(m)和纬线长度比(n)。如果投影后，经纬线仍为正交关系，那么经线长度比(m)和纬线长度比(n)，即为最大长度比(a)和最小长度比(b)。当投影后，如果经纬线不正交，其夹角为 θ，则经纬线长度比 m、n 与最大最小长度比 a、b 之间，根据解析几何中的阿波隆尼定理，存在以下换算：

$$m^2 + n^2 = a^2 + b^2 \tag{2-5}$$

$$m \cdot n \cdot \sin\theta = a \cdot b \tag{2-6}$$

由长度比可以引出长度变形的概念：长度变形(V_μ)指长度比与1的差值，用公式表示为：

$$V_\mu = \frac{ds' - ds}{ds} = \frac{ds'}{ds} - 1 = \mu - 1 \tag{2-7}$$

从长度比的分式可以看出，长度比是一个只有大于1或小于1(个别地方等于1)，没有负值的相对数量。而长度变形，则有正值有负值。当 V_μ 为负时，表明投影后长度缩小。

(2)面积比与面积变形　面积比 P 是指地面上的微分面积投影后的大小 dF' 与原有大小 dF 之比值。若球面上半径为 r 的微分圆，投影到投影面上之后成为长轴为 $a \cdot r$ 短轴为 $b \cdot r$ 的微分椭圆，其中 a，b 为主方向长度比，根据面积比定义，可用公式表示为：

$$P = \frac{dF'}{dF} = \frac{\pi a \cdot r \cdot b \cdot r}{\pi r^2} = a \cdot b \tag{2-8}$$

若投影后，经纬线仍为正交，最大长度比与最小长度比即为经线长度比与纬线长度比，故：

$$P = a \cdot b = m \cdot n \tag{2-9}$$

若投影后，经纬线不正交，即 $\theta \neq 90°$，则：

$$P = m \cdot n \cdot \sin\theta \tag{2-10}$$

面积比亦是个变量，它因点的位置不同而变化。

用面积比可以引出面积变形的概念：面积变形(V_P)指面积比与1的差值，用公式表示为：

$$V_P = \frac{dF' - dF}{dF} = \frac{dF'}{dF} - 1 = P - 1 \qquad (2-11)$$

面积比同长度比一样，也是一个只有大于1或小于1（个别地方等于1）而没有负值的相对数量，而面积变形则有正有负。当VP为正值时，表明投影后面积增大；当VP为负值时，表明投影后面积缩小。

（3）角度变形　地面上任意两条方向线的夹角α，与经过投影后的角度α'之差值，称为角度变形

过地面上一点可以引出无数的方向线，由两条方向线组成的角度也有无数个。由不同方向线所构成的角度投影到平面上之后，所产生的变形亦将各式各样。通常并不研究每一个角度的变形，而只是研究其中的最大角度变形。

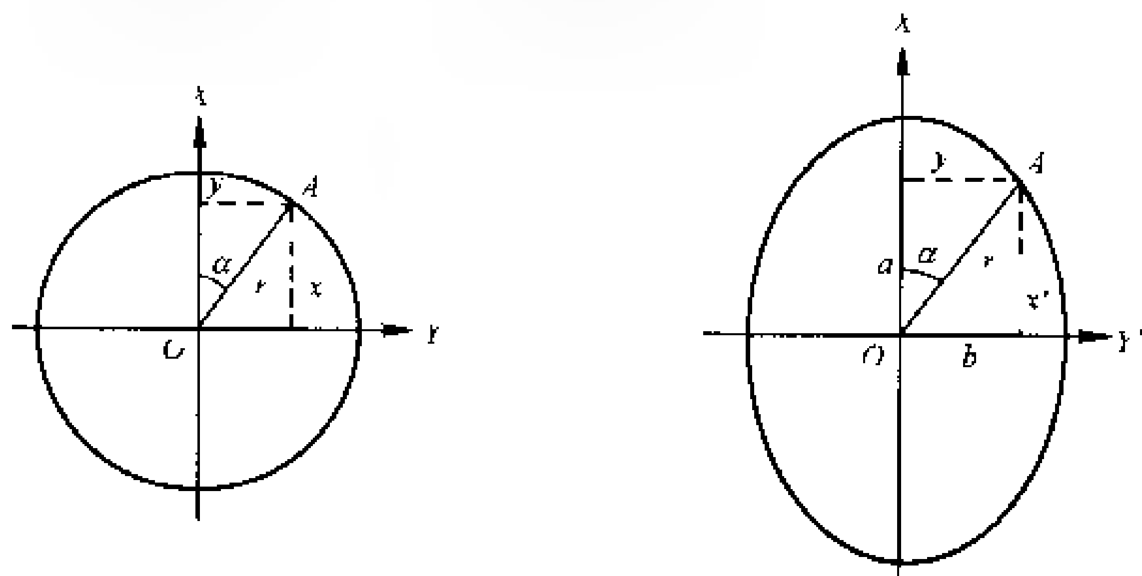


图2-16　角度变形

从图2-16中可见，X，Y为地面上两主方向，X'，Y'为投影平面上的两主方向。α与α'均是以主方向X与X'轴起算的。在这里，我们以地面上主方向X，Y和投影平面上主方向X'，Y'为坐标轴，推导其角度变形：

$$\tan\alpha = \frac{y}{x}, \qquad \tan\alpha' = \frac{y'}{x'}$$

已知

$$x'/x = a \qquad y'/y = b$$

即

$$x' = ax \qquad y' = by$$

故

$$\tan\alpha' = \frac{by}{ax} = \frac{b}{a}\tan\alpha \qquad (2-12)$$

将上式（2-12）两边各用$\tan\alpha$加和减，即：

$$\tan\alpha - \tan\alpha' = \tan\alpha - \frac{b}{a}\tan\alpha = \tan\alpha\left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

$$\tan\alpha + \tan\alpha' = \tan\alpha + \frac{b}{a}\tan\alpha = \tan\alpha\left(1 + \frac{b}{a}\right)$$

通过三角变换，即：

$$\frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\cos\alpha \cdot \cos\alpha'} = \frac{a - b}{a}\tan\alpha$$

$$\frac{\sin(\alpha + \alpha')}{\cos\alpha \cdot \cos\alpha'} = \frac{a + b}{a}\tan\alpha$$

将上两式相除后，即：

$$\frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\sin(\alpha + \alpha')} = \frac{a - b}{a + b}$$

故

$$\sin(\alpha - \alpha') = \frac{a - b}{a + b}\sin(\alpha + \alpha') \tag{2-13}$$

我们知道，$\alpha + \alpha' = 90°$时，即$\sin(\alpha + \alpha') = 1$时，$\alpha - \alpha'$的差值为最大。则：

$$\sin(\alpha - \alpha') = \frac{a - b}{a + b} \tag{2-14}$$

由于α是地面上一个方向线OA与主方向之间所夹的角，现假设在相邻象限有一个与OA对称的方向线OA'，则两方向线之夹角为μ，投影之后的角度为μ'，角度最大变形则为$\mu - \mu'$，现用ω表示，则：

$$\omega = \mu - \mu' = (180° - 2\alpha') - (180° - 2\alpha) = 2(\alpha - \alpha')$$

即：

$$\frac{\omega}{2} = (\alpha - \alpha') \tag{2-15}$$

代入(2－14)式得：

$$\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a - b}{a + b} \tag{2-16}$$

若已知经线长度比m，纬线长度比n，以及经纬线夹角θ，则角度最大变形公式可写成：

$$\sin\frac{\omega}{2} = \sqrt{\frac{m^2 + n^2 - 2m \cdot n \cdot \sin\theta}{m^2 + n^2 + 2m \cdot n \cdot \sin\theta}} \tag{2-17}$$

3.4　地图投影方法

1　几何投影法

以透视方位投影为例(图2－17)，利用几何法绘制球心正轴方位投影经纬网。假若按制图要求，需要绘制一个经差15°，纬差10°的球心正轴方位投影经纬网，具体步骤是：

依照规定的比例尺，绘制一个圆代表地球；

令光源置于球心 O 点，并使投影平面切于地球极点；

按规定的经差和纬差设置经纬线。经纬线的设置方法是：先从球心按规定的纬差间隔绘地球的半径，并分别延长交于 $F'F'$ 平面的 C'，D'，E'，F'，这样便得到了绘制各纬圈的半径 NA'，NB'，NC'，…，NF'；

以 NA'，NB'，NC'，…，NF' 为半径绘同心圆，即得各纬圈；

以 N 为圆心出发，按 15°间隔作放射状直线，即经线。这样便绘制成了所要求的经纬线网格

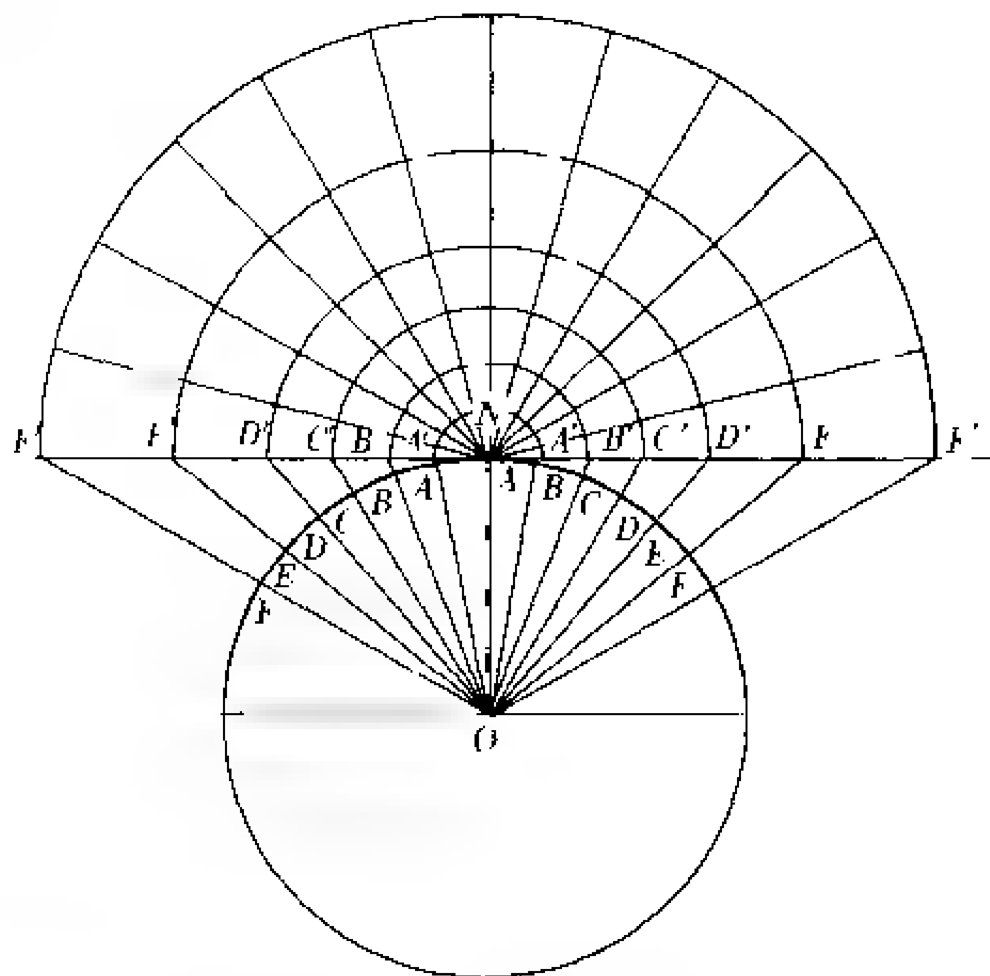


图 2－17　球心正轴方位投影的几何作法

球心正轴方位投影是一种任意投影，离投影中心愈远，变形愈大。该投影除具备方位投影的一般特性外，所有大圆航线都能投影成直线，故对航海、航空具有重要的实用价值。

2. 数学解析法

以等角正轴圆锥投影为例，介绍利用数学解析方法建立投影公式，并计算经纬线交点坐标，最后获得等角正轴圆锥投影经纬网的具体作法。正轴圆锥投影的纬线为同心圆，经线为同心圆的半径，两条经线间夹角 δ 与球面相应经差 $\Delta\lambda$ 成正比关系。在图 2－18 中，ρ 为投影的纬线半径，δ 为投影后的经线夹角，$\delta = \alpha\lambda$，式中 α 为圆锥系数。所谓圆锥系数，即指圆锥顶角与圆周角 360°之比。当 $\alpha = 1$ 时，为方位投影；当 $\alpha = 0$ 时，为圆柱投影。因此可以看出，圆锥投影主要由 ρ 与 α 确定。

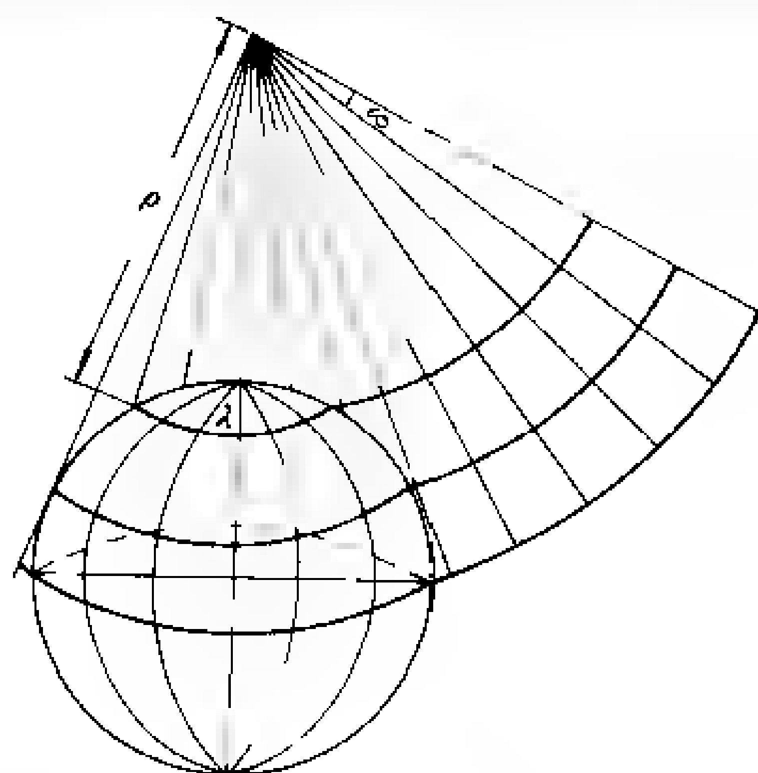
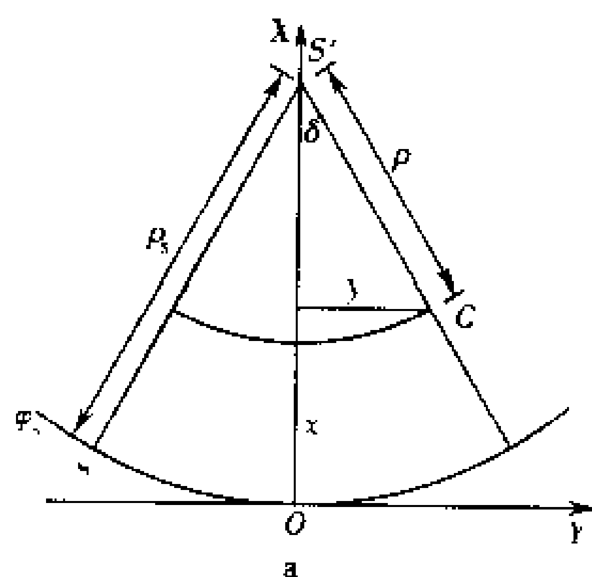


图2-18 等角正轴圆锥投影

下面先了解一下圆锥投影的一般公式。图2-19a为圆锥投影展开的扇形，S'为圆锥顶点，令$S'O$为平面直角坐标之X轴，$S'O$与南边纬交点O为坐标原点。过原点O作X轴的垂线，即得平面直角坐标Y轴。任一纬线半径ρ与经线交点C的平面直角坐标，即为：

$$x = \rho_S - \rho\cos\delta$$

$$y = \rho\sin\delta$$



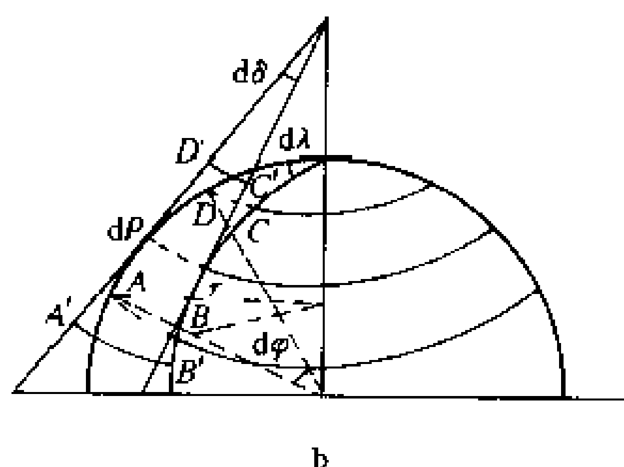


图2-19 正轴切圆锥投影

图2-19b中，设$A'B'C'D'$为球面上微分梯形$ABCD$的投影，$d\delta$为两条经线间微小夹角在投影后的角度，因此：

$$m = \frac{A'D'}{AD} = \frac{d\rho}{Rd\varphi}$$

$$n = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\rho d\delta}{R \cdot d\lambda \cdot \cos\varphi}$$

$$\sin\frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \text{ 或 } \tan\left(45^\circ + \frac{\omega}{4}\right) = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

式中,R——地球半径;

ω——最大角度变形(见2-15式);

a,b——分别为最大长度比和最小长度比。

式中 ρ 的具体形式应视投影性质而定。以等角正轴圆锥投影为例,其等角条件必须满足:$\omega=0, m=n$。由此即得:

$$-\frac{d\rho}{R d\varphi} = \frac{\rho d\delta}{R \cdot d\lambda \cdot \cos\varphi}$$

经过移项、积分、整理即得:

$$\rho = \frac{k}{\tan\alpha(45^\circ + \varphi/2)} \qquad (2-18)$$

式(2-18)中的 α 和 k 应根据是切圆锥投影还是割圆锥投影来确定。式中 α 为圆锥系数;k 为积分常数;φ 为标准纬线的纬度。当 $\varphi=0$ 时,$\rho=k$,即 k 等于赤道投影的半径;当 $\varphi=90^\circ$ 时,则 $\rho=0$。

(1)单标准纬线等角圆锥投影 单标准纬线是指圆锥面切于地球椭球体的一条纬线 φ 上,该纬线的长度比 $n_0=1$,因此 α,k 的求算如下:

$$\alpha = \frac{r_0}{\rho_0} = \frac{r\cos\varphi_0}{r\cot\varphi_0} = \sin\varphi_0 \qquad (2-19)$$

$$k = \frac{r_0\tan\alpha\left(45^\circ + \frac{\delta}{2}\right)}{2} = r\cot\delta_0\tan\alpha\left(45^\circ + \frac{\delta_0}{2}\right) \qquad (2-20)$$

式(2-19)、(2-20)中 r_0 为地球椭球体上的纬线半径,ρ_0 为其投影后圆锥表面上的纬线半径。当有了 α,ρ 和 k 之后,便可以计算投影面上各经纬线交点的平面直角坐标及变形值。

(2)双标准纬线等角圆锥投影 双标准纬线是指圆锥表面割于地球椭球体的两条纬线 φ_1,φ_2 上,因此 φ_1,φ_2 的纬线长度比 $n_1=n_2=1$。根据上述条件便可求得:

$$\alpha = \frac{\lg r_1 - \lg r_2}{\lg\tan(45^\circ + \varphi_2/2) - \lg\tan(45^\circ + \varphi_1/2)} \qquad (2-21)$$

$$k = \frac{r_1\tan(45^\circ + \varphi_1/2)}{\alpha} = \frac{r_2\tan(45^\circ + \varphi_2/2)}{\alpha} \qquad (2-22)$$

上面两式(2-21)、(2-22)中的 r_1、r_2 为两条割线 φ_1,φ_2 的半径。有了 α 和 k,便可计算双标准纬线等角圆锥投影经纬线交点的平面直角坐标及变形值

3.5 地图投影分类

地图投影的种类繁多，国内外学者提出了许多地图投影的分类方案，但迄今尚无一种分类方案能被一致认同。通常采用以下两种分类方法：按地图投影的构成方法分类和按地图投影的变形性质分类。

1. 按地图投影的构成方法分类

(1) 几何投影　几何投影源于透视几何学原理，并以几何特征为依据，将地球椭球面上的经纬网投影到平面上或投影到可以展成平面的圆柱表面和圆锥表面等几何面上，从而构成方位投影、圆柱投影和圆锥投影。

方位投影　以平面作为辅助投影面，使球体与平面相切或相割，将球体表面上的经纬网投影到平面上构成的一种投影。

圆柱投影　以圆柱表面作为辅助投影面，使球体与圆柱表面相切或相割，将球体表面上的经纬网投影到圆柱表面上，然后再将圆柱表面展成平面而构成的一种投影。

圆锥投影　以圆锥表面作为辅助投影面，使球体与圆锥表面相切或相割，将球体表面上的经纬网投影到圆锥表面上，然后再将圆锥表面展成平面而构成的一种投影。

上述投影又可根据球面与投影面的相对部位不同，分为正轴投影、横轴投影、斜轴投影。

正轴方位投影，投影面与地轴相垂直；横轴方位投影，投影面与地轴相平行；斜轴方位投影，投影面与地轴斜交(图2-20)。正轴圆柱投影和正轴圆锥投影，圆柱轴和圆锥轴与地轴重合；横轴圆柱投影和横轴圆锥投影，圆柱轴和圆锥轴与地轴相垂直；斜轴圆柱投影和斜轴圆锥投影，圆柱轴和圆锥轴与地轴斜交(图2-21，图2-22)。

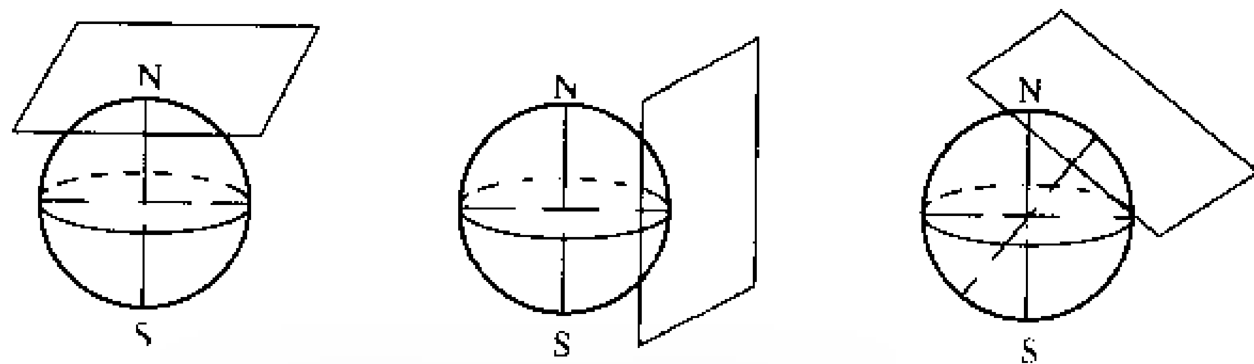


图2-20　正、横、斜轴方位投影

在圆柱投影中，以正轴和横轴常见；在圆锥投影中以正轴常见。

正轴投影的经纬线形状比较简单。正轴方位投影经纬线形状(图2-23a)，经线为放射状直线，纬线为同心圆；正轴圆柱投影(图2-23b)经纬线形状，经纬

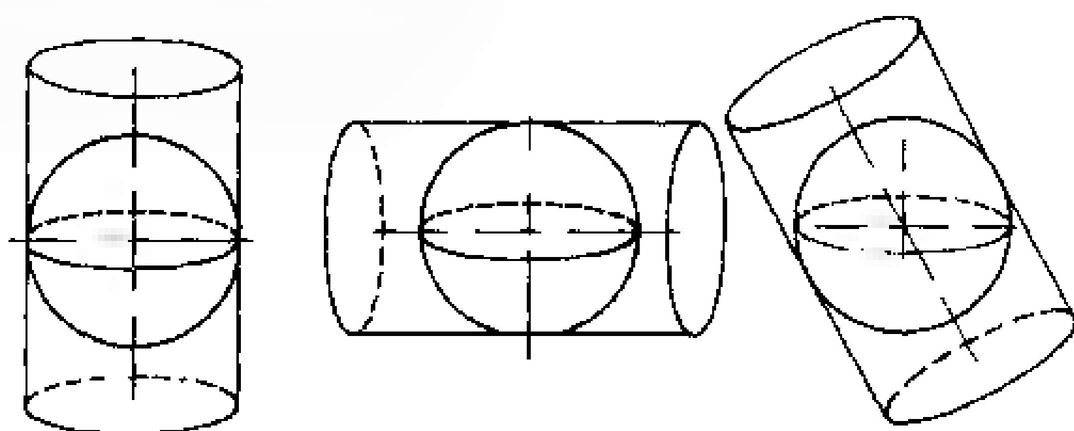


图 2 - 21 正、横 斜轴圆柱投影

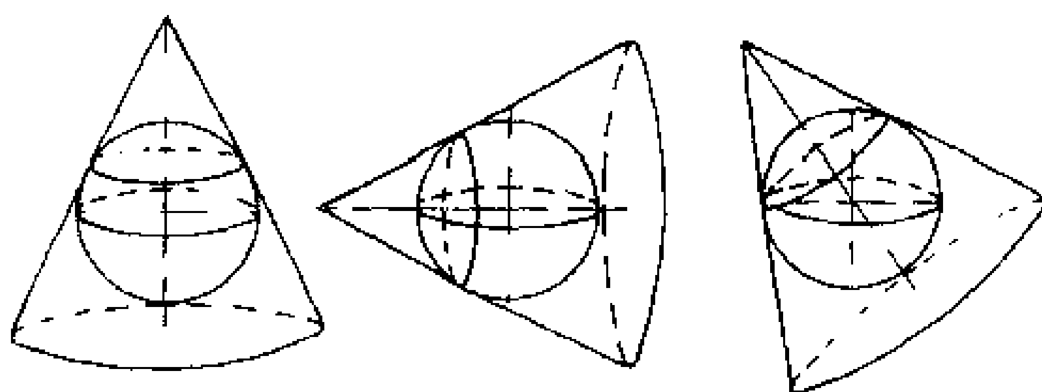


图 2 - 22 正、横、斜轴圆锥投影

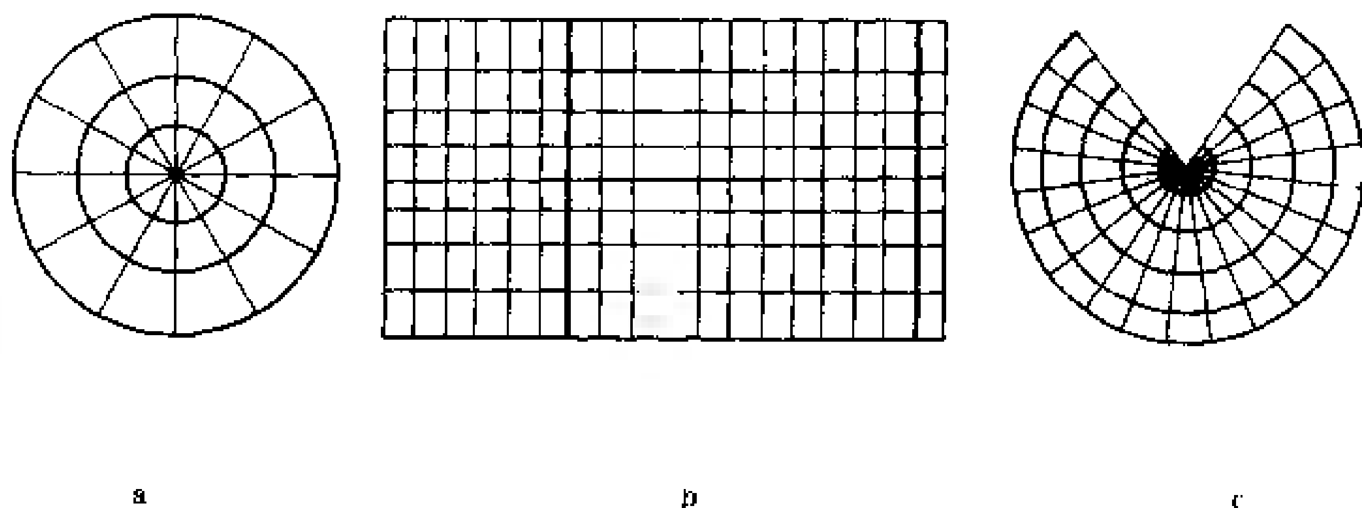


图 2 - 23 正轴投影经纬线形状

线均为一组平行且间隔相等的直线，纬线与经线垂直；正轴圆锥投影（图2-23c）的经纬线形状，经线为放射状直线束，纬线为同心圆弧。

（2）非几何投影 几何投影是地图投影的基础，但有其局限性。通过一系列数学解析方法，由几何投影演绎产生了非几何投影，它们并不借助辅助投影面，而是根据制图的某些特定要求，如考虑制图区域形状等特点，选用合适的投影条件，用数学解析方法，求出投影公式，确定平面与球面之间点与点间的函数关系。按经纬线形状，可将非几何投影分为伪方位投影、伪圆柱投影、伪圆锥投影、多圆锥投影、

伪方位投影 在正轴情况下，伪方位投影的纬线仍投影为同心圆，除中央经线投影成直线外，其余经线均投影成对称于中央经线的曲线，且交于纬线的共同圆心（图 2-24）。

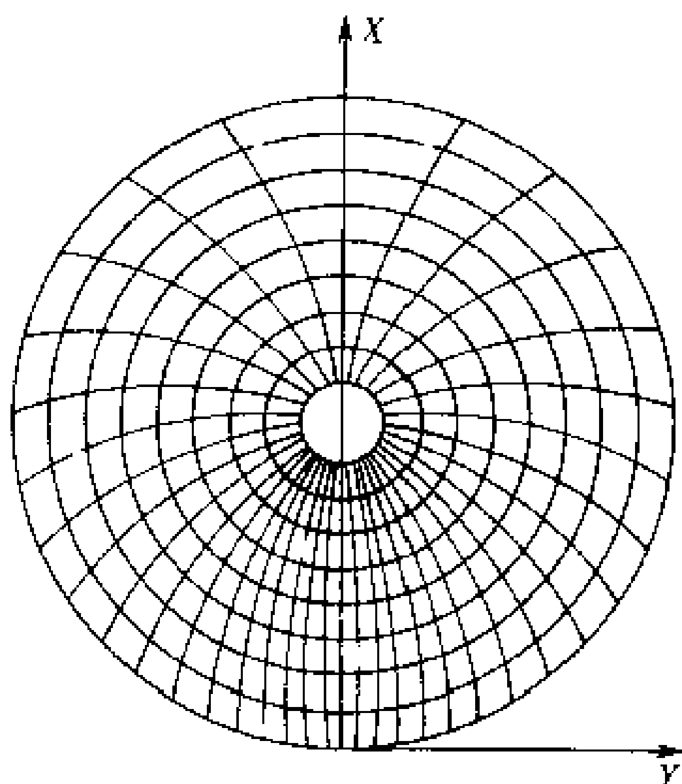


图2－24 伪方位投影

伪圆柱投影 在正轴圆柱投影基础上，规定纬线仍为平行直线，除中央经线投影成直线外，其余经线均投影成对称于中央经线的曲线(图2 25)。

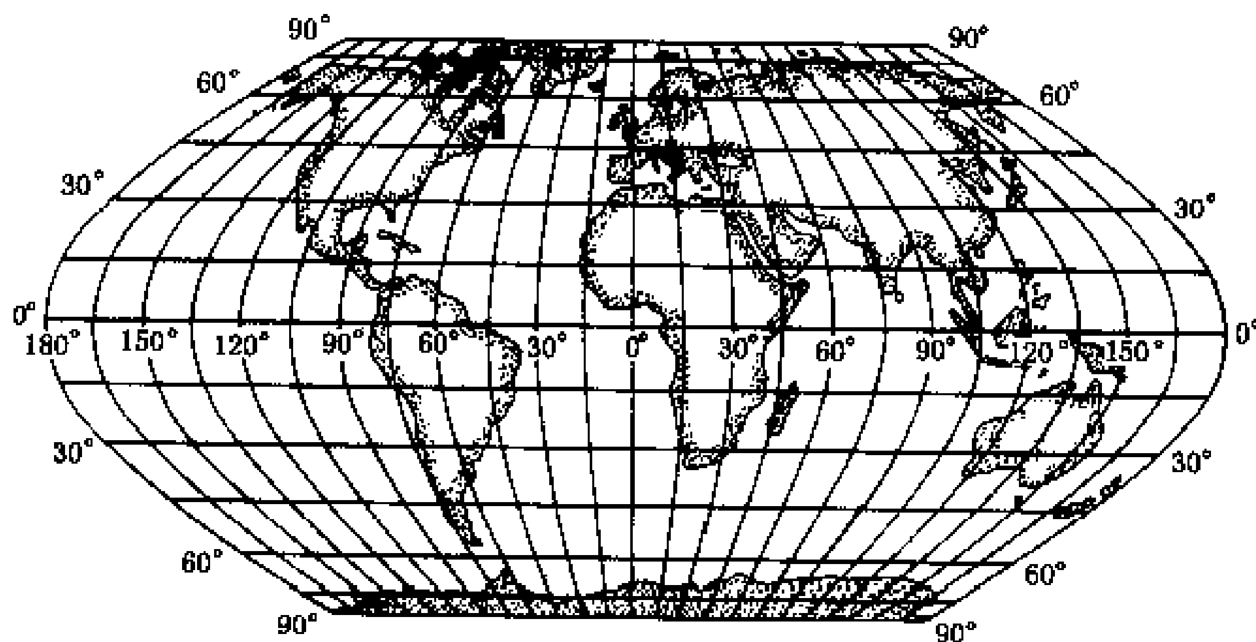


图2 25 伪圆柱投影

伪圆锥投影 在圆锥投影基础上，规定纬线仍为同心圆弧，除中央经线仍为直线外，其余经线则投影成对称于中央经线的曲线(图2－26)。

多圆锥投影 这是一种假想借助多个圆锥表面与球体相切设计而成的投影 纬线为同轴圆弧，其圆心位于中央经线上，中央经线为直线，其余经线则投影成对称于中央经线的曲线(图2－27)。

2. 按地图投影的变形性质分类

地图投影按变形性质可分为等角投影，等积投影和任意投影(图2－28)。

(1) 等角投影 投影面上两条方向线所夹角度与球面上对应的两条方向线

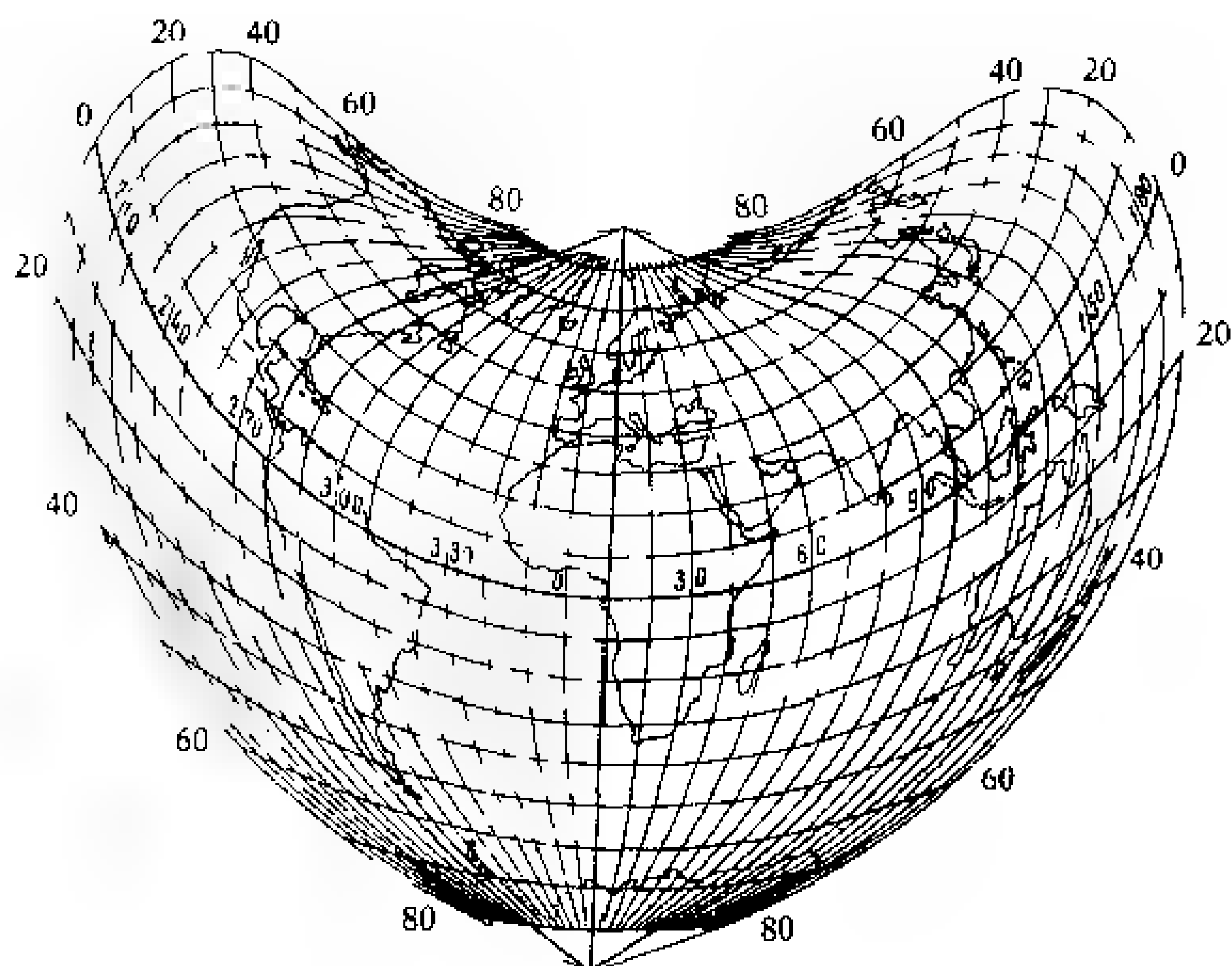


图2 26 伪圆锥投影

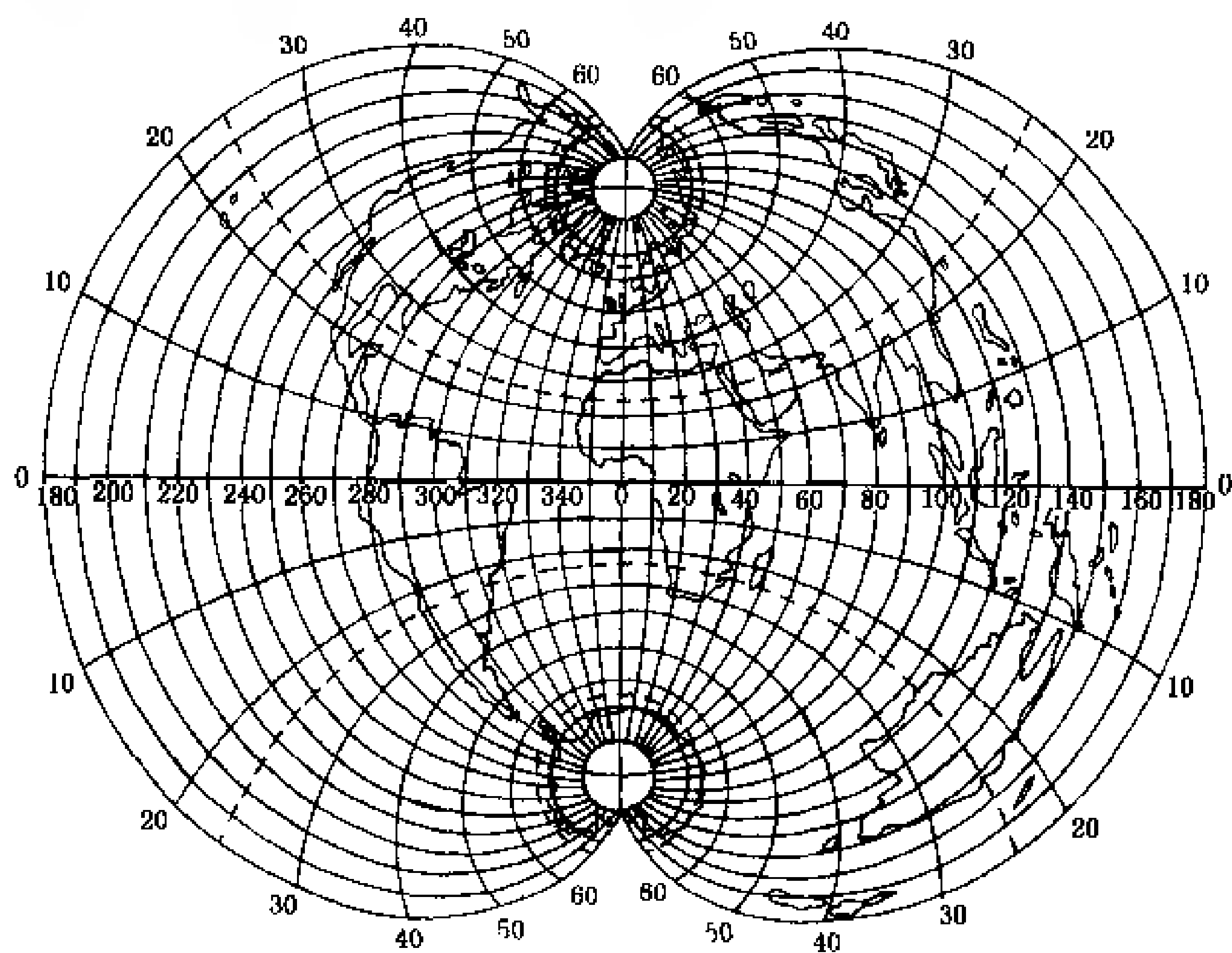


图2 27 多圆锥投影

所夹角度相等。换句话说，球面上小范围内的地物轮廓经投影之后，仍保持形状

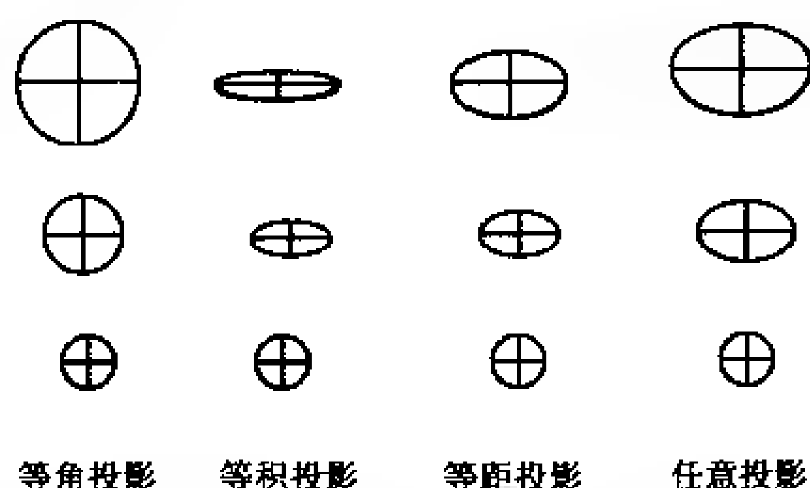


图2—28　各种不同变形性质的投影图上变形椭圆示意

不变。若用变形椭圆解释，保持等角条件必须是，球面上任一处的微分圆投影到平面上之后仍为正圆而不是椭圆，长度比在一点上不因方向改变而改变，永远保持 $a=b$，则经纬线夹角 $\theta=90°$，$m=n$，$\omega=0$。因此，等角投影也称相似投影或正形投影。但应该说明一点，在不同点上长度比大小是各不相同的，即具体表现为 $a=b=m=n$ 的值，在有的点上大于1，有的点上小于1，个别点上等于1。由投影的面积比公式 $P=a\cdot b=m\cdot n$ 可以看出，等角投影的面积变形大。由于等角投影保持角度不变，因此适用于交通图、洋流图、风向图等。

(2) 等积投影　地球椭球面上的面状地物轮廓经投影之后，仍保持面积不变。即投影平面上的地物轮廓图形面积与球面上相对应的地物占地面积相等。用变形椭圆解释，保持等积条件必须令 $a\cdot b=1$，即变形椭圆的最大长度比与最小长度比互为倒数关系，$a=1/b$ 或 $b=1/a$。由此看来，在不同点上变形椭圆的形状相差很大，即长轴越长，则短轴越短。亦就是说，在等积投影上以破坏图形的相似性来保持面积上的相等。因此，等积投影的角度变形大。由于这类投影保持面积不变，利于面积对比，故适用于对面积精度要求较高的自然地图和社会经济地图。

(3) 任意投影　这是根据一般参考图或中小学教学用图要求而设计的一种投影。它既不等角也不等积，长度、角度、面积三种变形同时存在。其角度变形小于等积投影，而面积变形小于等角投影。在任意投影中，有一种比较常见的投影，即等距投影。所谓等距投影，并不是说这类投影不存在长度变形，而是只保持变形椭圆主方向中某一个长度比等于1，即 $a=1$ 或 $b=1$。任意投影多用于对面积精度和角度精度没有什么特殊要求的，或者也可以是对面积变形和角度变形都不希望太大的一般参考图和中小学教学用图。

3.6　地图投影变换

在地图编制过程中，经常遇到地图资料与新编地图之间投影不统一，因而必须将某一种投影的地图资料通过某种转换方式，转绘到另一种新编地图的投影

坐标网格中去。

1 传统地图的投影变换

传统的手工编图作业时，通常是采用格网转绘法或蓝图（或棕图）嵌贴法，解决投影转换问题。

（1）格网转绘法 是将地图资料投影格网和新编地图的投影格网对应加密，也就是把地图资料微小格网与新编地图的微小格网一一对应，在对应的微小格网范围内，采取手工方法逐点、逐线转绘。

（2）蓝图（或棕图）嵌贴法 是将地图资料按新编地图比例尺复照后晒成蓝图（或棕图），利用纸张湿水后的可伸缩性，切块嵌贴在新编地图投影格网的相应位置上。假若纸张的伸缩性不够大，还可以采取将地图资料印在塑料薄膜上，经过无定形拉伸扭曲嵌贴在新编地图的投影格网的相应位置上。

2 数字地图的投影变换

随着机助制图技术的发展，实现了地图资料上二维点位由计算机自动转换成新编地图投影中的二维点位。具体变换过程是：①用数字化仪将原始投影的地图资料变成数字资料；②输入计算机的数字资料，按一定的数学方法进行投影坐标变换；③将变换后的数字资料用绘图仪输出成新投影的图形。

（1）投影变换的一般公式 两个不同投影平面场上的点可对应写成：

$$X = f_1(x,y) \qquad Y = f_2(x,y) \tag{2-23}$$

式中，x,y 为地图资料投影平面上需要变换的直角坐标；X,Y 是新编地图投影平面上的直角坐标；f_1,f_2 为定域内单值、连续的函数。

对前、后两种地图投影，可分别有如下表达形式：

$$\left.\begin{aligned} x &= f_1(\varphi,\lambda) \qquad y = f_2(\varphi,\lambda) \\ X &= \Phi_1(\varphi,\lambda) \qquad Y = \Phi_2(\varphi,\lambda) \end{aligned}\right\} \tag{2-24}$$

如果根据地图资料的投影公式求反解，对前一投影，则有

$$\varphi = \varphi(x,y), \lambda = \lambda(x,y) \tag{2-25}$$

代入后一投影方程即有

$$X = \varphi_1[\varphi(x,y),\lambda(x,y)], Y = \varphi_2[\varphi(x,y),\lambda(x,y)] \tag{2-26}$$

这就是地图投影变换的数学模型。

如果不能确切判定地图资料的投影公式和常数，则可利用两平面直角坐标的函数多项式实施变换：

$$\left.\begin{aligned} X = {} & a_{00} + a_{10}x + a_{20}x^2 + a_{01}y + a_{11}xy + a_{02}y^2 + \\ & a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 + \cdots \\ Y = {} & b_{00} + b_{10}x + b_{20}x^2 + b_{01}y + b_{11}xy + b_{02}y^2 + \\ & b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3 + \cdots \end{aligned}\right\} \tag{2-27}$$

式(2-27)中待定系数 a_{ij}, b_{ij} 可由若干已知点坐标求出。由于用多项式直接将地图资料的直角坐标变换为新编图的平面直角坐标均会含有误差，且无法检定，所以在具体实施变换时应从计算方法上加以改进。

2）根据两投影方程进行变换的示例

① 由等角圆柱投影变换成等角圆锥投影

已知等角圆柱投影方程

$$x = r_k \ln U, \quad y = r_k \lambda$$

可得

$$\ln U = \frac{x}{r_k}$$

或

$$U = e^{\frac{x}{r_k}}, \quad \lambda = \frac{y}{r_k}$$

式中，r_k 是等角圆柱投影中标准纬线 φ_k 的半径；U 为等量纬度。

将其代入下列等角圆锥投影公式

$$\begin{aligned} \rho &= K/U^2 \\ \delta &= \alpha\lambda \\ x &= \rho_s - \rho\cos\delta \\ y &= \rho\sin\delta \end{aligned}$$

可得

$$\begin{aligned} X &= \rho_s - \frac{K}{e^{\frac{\alpha x}{r_k}}}\cos\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right) \\ Y &= \frac{K}{e^{\frac{\alpha x}{r_k}}}\sin\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right) \end{aligned} \qquad (2-28)$$

式中，K 为积分常数，α 为圆锥系数，角度以弧度计。

② 由等距圆柱投影变换成等距圆锥投影

先列出等距圆柱投影方程 $x = s$, $y = r_k\lambda$

可得 $\lambda = y/r_k$

代入以下等距圆锥投影中

$$\begin{aligned} \rho &= C - s \\ \delta &= \alpha\lambda \\ x &= \rho_s - \rho\cos\delta \\ y &= \rho\sin\delta \end{aligned}$$

可得

$$
\begin{aligned}
X &= \rho_s - (C - s)\cos\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right) \\
Y &= (C - s)\sin\left(\alpha \cdot \frac{y}{r_k}\right)
\end{aligned}
\qquad (2-29)
$$

式中，C 为积分常数，s 为赤道到某纬度 φ 的经线弧长，角度以弧度计。

§4 地图投影的应用

地图投影是地图数学基础中的重要组成部分，它是将地球椭球面上的景物，科学、准确地转绘到平面图纸上的控制骨架和定位依据。因此，在编制地图过程中，对新编地图投影的选择与设计至关重要，它将直接影响地图的精度和使用价值。

4.1 地图投影的选择依据

1. 制图区域的地理位置、形状和范围

制图区域的地理位置决定了所选择投影的种类。例如，制图区域在极地位置，理所当然地选择正轴方位投影；制图区域在赤道附近，应考虑选择横轴方位投影或正轴圆柱投影；若制图区域在中纬地区，则应考虑选择正轴圆锥投影或斜轴方位投影。

制图区域形状直接制约地图投影的选择。例如，同是中纬地区，如果制图区域呈现沿纬线方向延伸的长形区域，则应选择单标准纬线正轴圆锥投影；如果制图区域呈现沿经线方向略窄，沿纬线方向略宽的长形区域，则应选择双标准纬线正轴圆锥投影；如果制图区域呈现沿经线方向南北延伸的长形区域，则应选择多圆锥投影；如果制图区域呈现南北、东西方向差别不大的圆形区域，则应考虑选择斜轴方位投影。同是在低纬赤道附近，如果是沿赤道方向呈东西延伸的长条形区域，则应选择正轴圆柱投影；如果是呈现东西、南北方向长宽相差无几的圆形区域，则以选择横轴方位投影为宜。

制图区域的范围大小也影响地图投影的选择。当制图区域范围不太大时，无论选择什么投影，制图区域范围内各处变形差异都不会太大。有人曾以我国最大的省区新疆维吾尔自治区为例，用等角、等积、等距三种正轴圆锥投影作比较，其计算结果表明，不同纬度的长度变形差别甚微（在 0.000 1 ~ 0.000 3 之间），不言而喻，其他省区图，其变形差异就更微乎其微了。而对于制图区域广大的大国地图、大洲地图、半球图、世界图等，则需要慎重地选择投影。

2. 制图比例尺

不同比例尺地图对精度要求的不同，导致在投影选择上亦各不相同。以我国为例，大比例尺地形图，由于要在图上进行各种量算及精确定位，因此应选择各方面变形都很小的地图投影，比如分带投影的横轴等角椭圆柱投影(如高斯克吕格投影)。而中小比例尺的省区图，由于概括程度高于大比例尺地形图，因而定位精度相对降低，选用正轴等角、等积、等距的圆锥投影即可满足用图要求。

3. 地图的内容

即使同一个制图区域，但因地图所表现的主题和内容不同，因而其地图投影选择也应有所不同。如交通图、航海图、航空图、军用地形图等要求方向正确的地图，应选择等角投影。而自然地图和社会经济地图中的分布图、类型图、区划图等则要求保持面积对比关系的正确，因此应选用等积投影。再如世界时区图，为使时区的划分表现得清楚，只能选择经线投影成直线的正轴圆柱投影。另外，比如中国政区图，为了能完整连续地将祖国的大陆及海疆表现出来，故应选用斜轴方位投影。作为中小学的教学用图，由于学生的年龄和知识的局限性，最好选择各种变形都不太大的任意投影，例如比较常见的等距投影，就能给学生一种较为近于实际的地理概念。

4. 出版方式

地图在出版方式上，有单幅图、系列图和地图集之分。单幅图的投影选择比较简单，只考虑上述几个原则便可以了；系列图或地图集中的一个图组，虽然表现内容较多，但由于性质相近，也应该选择同一变形性质的投影，以便于相互比较与参证；如果是地图集，情况就比较复杂了。一部图集，虽然是一个统一整体，但由于它是由若干不同主题内容的图组所构成，因而在投影选择上不能千篇一律，必须结合具体内容予以考虑。但又因图集是一个统一协调的有机整体，故投影选择又不能过多，应尽量采用同一系统的投影，再根据个别内容的特殊要求，在变形性质方面予以适当变化。

4.2 地形图投影

从世界范围看，各国大中比例尺地形图所使用的投影很不统一，据不完全统计有十几种之多，最常用的有横轴等角椭圆柱投影等。人民共和国成立后，我国大中比例尺地形图一律规定采用以克拉索夫斯基椭球体元素计算的高斯－克吕格投影。我国新编百万分一地形图，采用的则是边纬与中纬变形绝对值相等的等角割圆锥投影。

1. 高斯－克吕格投影

以椭圆柱面作为投影面，并与椭球体面相切于一条经线上，该经线即为投影

面的中央经线，按等角条件将中央经线东西一定范围内的区域投影到椭圆柱表面上，再展成平面，便构成了横轴等角切椭圆柱投影。该投影是早在19世纪20年代由德国的高斯（C. F. Gauss，1777—1855）最先设计的，后又于1912年经德国的克吕格（J. Krüger，1857—1923）对投影公式加以补充完善，故后人称该投影为高斯—克吕格投影。

高斯—克吕格投影，通常是按6°或3°分带投影。经纬网的形状，除中央经线与赤道为相互垂直的直线外，其他经线均为对称于中央经线并交于两极的凹向曲线，其他纬线均为对称于赤道并凸向两极的凸向曲线，经线与纬线成正交关系（图2-29）。该投影无角度变形，即 $\omega=0$。

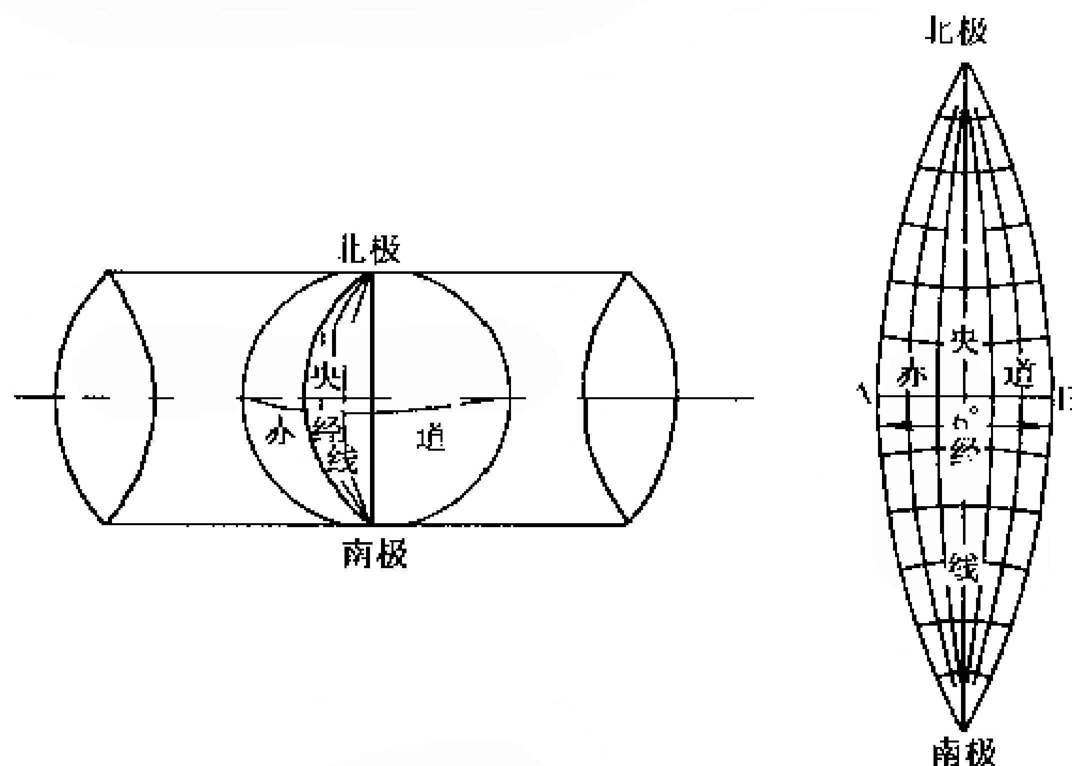


图2—29 高斯—克吕格投影示意

中央经线长度比 $m=1$，没有长度变形，其余经线长度比均大于1，长度变形为正，即 $V>1$。距中央经线愈远变形愈大，最大长度变形在赤道与边纬的交点上，6°投影带边缘最大长度变形为0.14%，最大面积变形0.27%。表2—2为高斯—克吕格投影6°投影带内的长度变形值。

我国国家基本比例尺地形图中的大中比例尺图，一律采用高斯—克吕格投影。其中1:1万比例尺的地形图采用按经差3°分带，1:2.5万～1:50万比例尺地形图采用经差6°分带。具体分带法是：6°分带从本初子午线开始，按经差6°为一个投影带自西向东划分，全球共分60个投影带，带号分别冠以1～60。东经0°～6°为第1个投影带，6°～12°为第2个投影带，依此类推，至西经12°～6°为第59个投影带，西经6°～0°为第60个投影带。由于我国疆域在72°E～136°E之间，因此包括了13～23带共11个投影带。3°投影带是从东经1°30′经线开始，按经差3°为一个投影带自西向东划分，全球共分120个投影带。图2—30为6°投

影带和3°投影带划分及中央经线、带号相互间的关系示意。

表2-2　高斯-克吕格投影6°带内长度变形表

纬　度	经差			
	0°	1°	2°	3°
90°	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00
80°	0.000 00	0.000 00	0.000 02	0.000 04
70°	0.000 00	0.000 02	0.000 07	0.000 16
60°	0.000 00	0.000 04	0.000 15	0.000 34
50°	0.000 00	0.000 06	0.000 25	0.000 57
40°	0.000 00	0.000 09	0.000 36	0.000 81
30°	0.000 00	0.000 12	0.000 46	0.001 03
20°	0.000 00	0.000 13	0.000 54	0.001 21
10°	0.000 00	0.000 14	0.000 59	0.001 34
0°	0.000 00	0.000 15	0.000 61	0.001 38

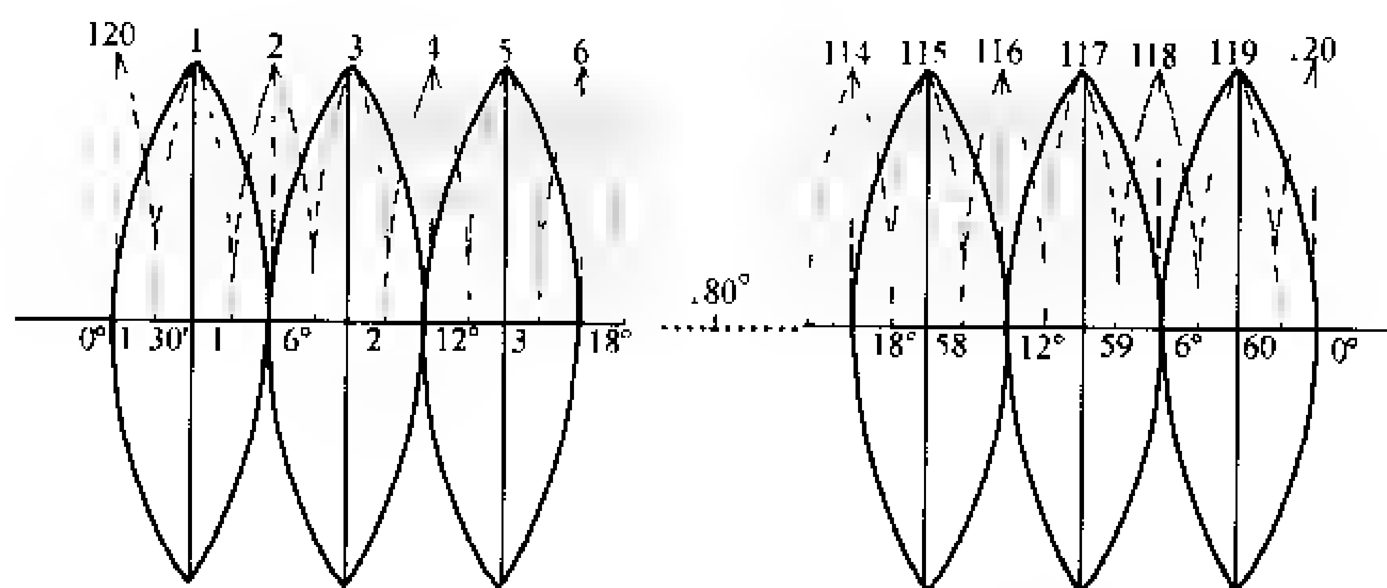


图2-30　6°投影带和3°投影带划分及中央经线、带号相互间关系示意

为了便于地形图的量测作业，在高斯-克吕格投影带内布置了平面直角坐标系统。具体构成方法是：规定以中央经线为 X 轴，赤道为 Y 轴，中央经线与赤道交点为坐标原点。同时规定，x 值在北半球为正，南半球为负；y 值在中央经线以东为正，中央经线以西为负。由于我国疆域均在北半球，x 值皆为正值。为避免 y 值出现负值，还规定各投影带的坐标纵轴均西移500km，中央经线上原横坐标值由0变为500km，在整个投影带内 y 值就不会出现负值了(图2-31)。例如，在某投影带内有 A、B 两点，A 点位于中央经线东侧，y_A = 245 863.7m，B 点位于中央经线西侧，y_B = -245 863.7m，当坐标纵轴西移500km后，则 y_A = 745 863.7m，y_B = 254 136.3m。

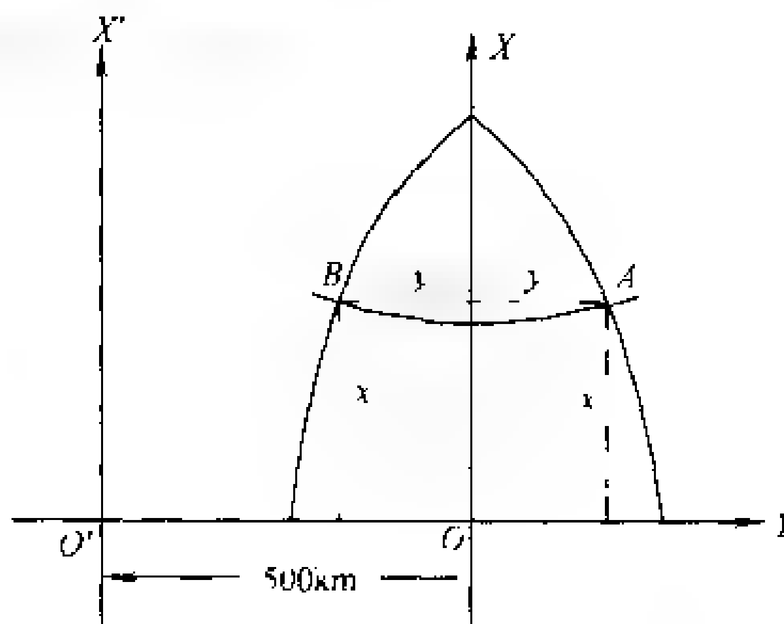


图 2－31　坐标纵轴西移 500km 示意图

由于高斯－克吕格投影采用分带投影，并且在各带内均设有相同的平面直角坐标网，因此各带之间都有相同坐标值的点位。为了使各带间的点位能够加以区分，又规定在每个点位横坐标 y 值的百千米位数前加上所在带号，假设 A、B 两点同位于 20 带内，则其通用坐标表示为：

$$y_{A通} = 20\ 745\ 863.7\text{m}$$

$$y_{B通} = 20\ 254\ 136.3\text{m}$$

基于高斯－克吕格投影各投影带的划分方法相同，各带经纬线交点坐标成果相同并且可以通用，因此由国家测绘主管部门根据国家基本地形图比例尺系列，计算制成高斯－克吕格投影坐标成果表，提供各部门使用。

高斯－克吕格投影，欧美一些国家称之为横轴等角墨卡托投影。美国及其他一些国家地形图使用的 UTM 投影（Universal Transverse Mercatol Projection，即通用横轴墨卡托投影），亦属横轴等角椭圆柱投影的系列。UTM 投影与高斯－克吕格投影的区别在于，该投影是横轴等角割椭圆柱投影。UTM 投影，在投影带内有两条长度比等于 1 的标准经线，而中央经线的长度比为 0.999 6。因而使投影带内变形差异更小，其最大长度变形不超过 0.04%。

2．中国新编百万分一地形图投影

百万分一地形图由于具有一定的国际性，所以又称国际百万分一地图。进入 20 世纪以来，为了便于国际间交往和应用，因此按照统一的投影、统一的分幅编号、统一的图式规范，各国分别编制本国范围内的百万分一地图。从使用的投影情况看，先后使用了改良多圆锥投影和等角圆锥投影作为百万分一地图投影。我国自 1978 年开始，决定采用等角圆锥投影作为百万分之一地图投影，但标准纬线的设置位置与国际指定的稍有差别。

我国百万分一地图，采用边纬与中纬变形绝对值相等的双标准纬线等角圆

锥投影 在该投影中，两条标准纬线的边纬为：

$$\varphi_{\text{}} = \varphi_{N} + 35'$$
$$\varphi_{\text{}} = \varphi_{N} - 35'$$

该投影变形分布规律是：长度变形在边纬线与中纬线上为±0.030%，面积变形为0.060%（图2-32）。从上述变形分布情况看，该投影的变形值很小。

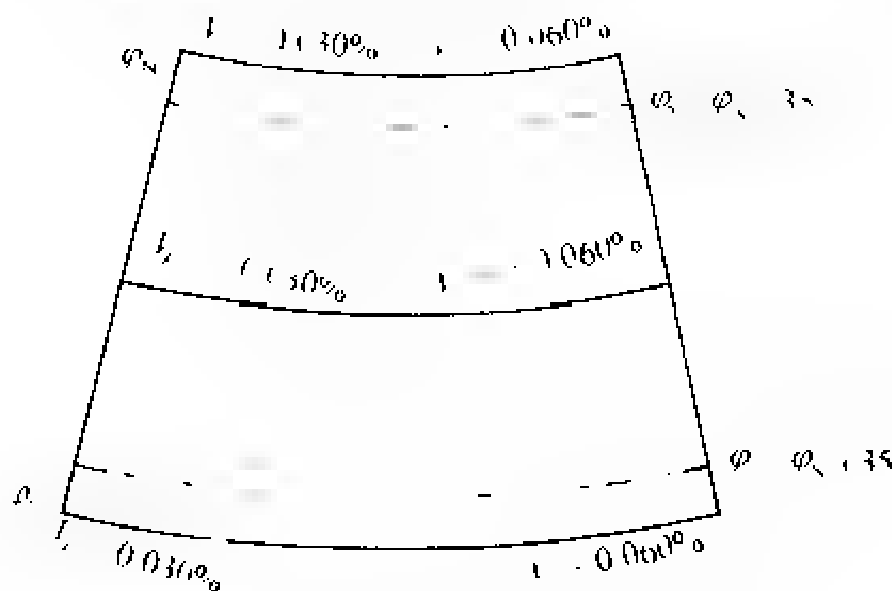


图2-32 中国新编百万分一地图变形分布示意

4.3 区域图投影

区域地图是指除世界地图之外的半球图、大洲图、国家图、省区图、地区图，即含区域比较大的中小比例尺地图。从出版形式来看，这类地图以单张挂图较多。由于包括的区域大小不同，所处的地理位置不同及表现内容的差异性等，在投影系统和变形性质的选择方面都有所区别。常用的地图投影有方位投影、圆锥投影和伪圆锥投影。其变形性质以等角、等积性质的为主。

1. 方位投影

方位投影的特点是：在投影平面上，由投影中心（平面与球面相切的切点，或平面与球面相割的割线的圆心）向各方向的方位角与实地相等，其等变形线是以投影中心为圆心的同心圆。因此，这种投影适合作区域轮廓大致为圆形的地图。

（1）正轴方位投影 投影中心为地球的北极或南极，纬线为同心圆，经线为同心圆的半径，两条经线间夹角与实地相等。正轴方位投影包括等角、等积、等距三种变形性质，其中以等角和等距两种变形性质常用，主要用于制作两极地区图。

（2）正轴等角方位投影 指投影后经线长度比与纬线长度比相等（$m=n$），以等角条件决定 $\rho=f(\varphi)$ 函数形式的一种方位投影。函数式中的 ρ 代表纬圈半径。该投影能使球面上的微分圆，经投影后仍保持正圆形状，不随方向改变而改

变 但其长度变形和面积变形,则随距投影中心愈远而变形愈大。为使投影区域变形能够得到改善,故多采用正轴等角割方位投影 例如美国提出的通用极球面投影(UPS) 我国设计的全球百万分一分幅地图,在$\varphi = +84°$以上和$\varphi = -80°$以下系采用正轴等角方位投影

(3) 正轴等距方位投影 等距方位投影又称波斯托投影 它是由数学家波斯托(G.Postel)于1581年设计的 该投影,由投影中心至任意一点的距离均与实地相等 即投影后经线长度比$m=1$ 由于该投影具有由投影中心至任意点的距离和方位均保持与实地的距离和方位不变,因此在国际上应用的也比较广泛,多用作两极地区图(图2-33)。联合国徽亦用此投影设计。

(4) 横轴与斜轴方位投影 当平面与球面相切,其切点在赤道上的任意点,称为横轴方位投影;其切点不在极点或赤道,而是介于两者之间的任意点,称为斜轴方位投影。在横轴与斜轴方位投影中,过投影中心的大圆线称为垂直圈,与垂直圈相垂直的同心圆称为等高圈,垂直圈投影后成为等高圈同心圆的半径 两个垂直圈(或投影后为两条直线)间的夹角与实地相等。常用的横轴与斜轴方位投影,以等积和等距两种变形性质的为多见。

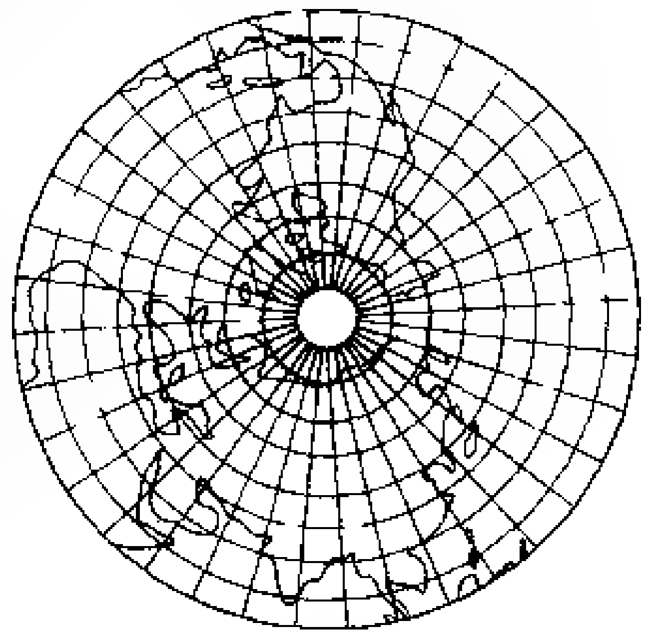


图2-33 正轴等距方位投影表示的北半球极地图

(5) 横轴或斜轴等积方位投影 以等积条件决定等高圈半径$\rho = f(Z)$函数形式的一种投影,式中Z为天顶距。该种变形性质的方位投影,是使球面任意一块面积投影后仍然保持不变,即面积比$P=1$,面积变形$V_p=0$。其长度变形和角度变形,将随距投影中心的远近而变化,距投影中心愈近变形愈小,距投影中心愈远则变形愈大。横轴等积方位投影主要用于编制东西半球图,所取投影中心位置为:东半球图$\varphi_0=0°, \lambda_0=+70°$;西半球图$\varphi_0=0°, \lambda_0=-110°$ 该投影也可用于编制非洲地图,所取投影中心位置为$\varphi_0=0°, \lambda_0=+20°$。斜轴等积方位投影主要用于编制水陆半球图、亚洲地图、欧亚地图、北美洲地图、拉丁美洲地图、大洋洲地图及全球航空图等。我国编制出版的包括南海诸岛完整连续表示的《中华人民共和国全图》,也常用此投影。

(6) 横轴或斜轴等距方位投影 以$P_1A = P_1A' = \rho = RZ$条件设计的垂直圈长度比等于1的一种方位投影。其变形分布规律和等角、等积方位投影一样,都在投影中心无变形,距投影中心愈远变形愈大。不过面积变形比等角投影小,角度变形比等积投影小。总之,等距投影虽然三种变形都有,但比较适中 该投影的适用范围:横轴等距方位投影,适合于绘制东西半球图(图2-34);斜轴等距

方位投影，适合于绘制以机场为投影中心的航行半径图、以震中为投影中心的地震影响范围图、以大城市为投影中心的交通等时线图等(图2-35)。

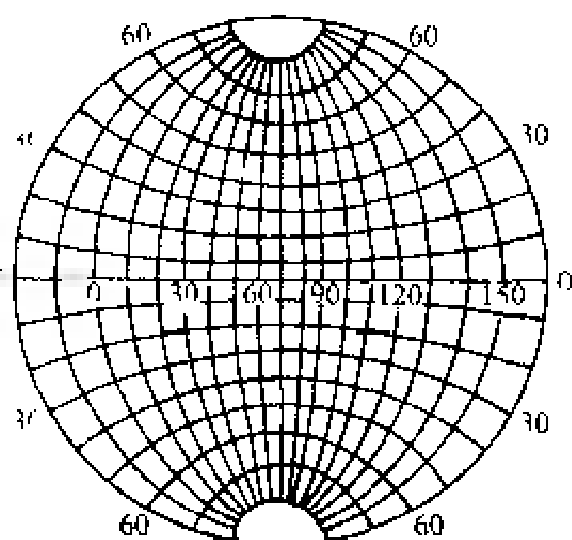


图2-34 横轴等距方位投影

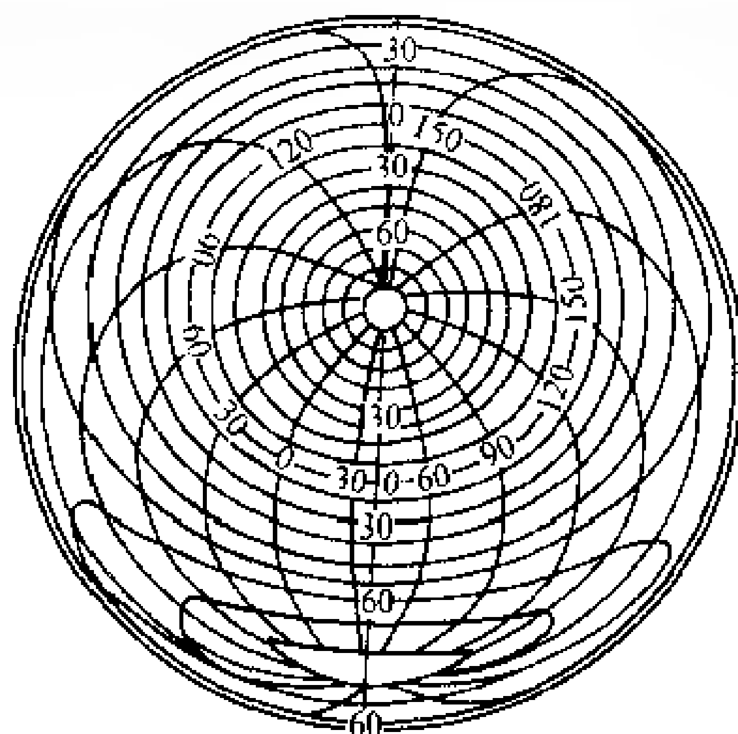


图2-35 斜轴等距方位投影

2. 圆锥投影

圆锥投影，按圆锥面与地球的相对位置不同，也有正轴、横轴、斜轴之分。不过横轴、斜轴很少用，通常在图上标注圆锥投影的皆为正轴圆锥投影(图2-36)。

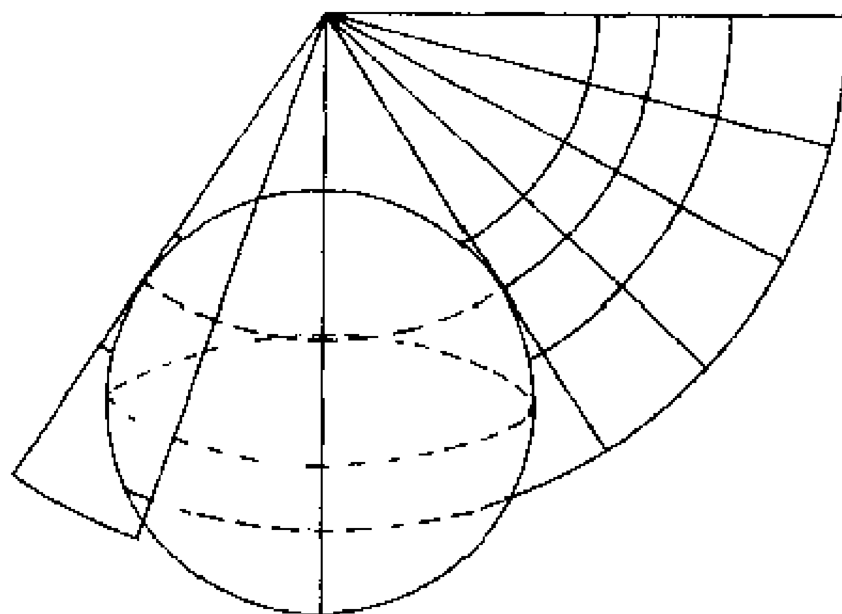


图2-36 正轴圆锥投影

(1) 正轴圆锥投影 纬线为同心圆弧，经线为同心圆弧半径。当标准纬线位置确定之后，圆锥系数也就固定了，因而经线夹角也是固定不变的。投影的不同变形性质，只是反映在纬线间隔的变化上。亦就是说，圆锥投影的各种变形都是纬度 φ 的函数，而与经度 λ 无关。各种变形都是随纬度变化而变化，对某具体的变形性质而言，在同一条纬线上，其变形值相等。等变形线与纬线平行，

呈同心圆弧状分布 切圆锥投影，圆锥面与球面相切的切线，即标准纬线。距标准纬线愈远，其变形愈大，而且由标准纬线向北的变形速度比由标准纬线向南快（图2－37）。割圆锥投影，圆锥表面与球面相割的两条割线，即标准纬线。距标准纬线愈远变形愈大，标准纬线外的变形分布规律同切圆锥投影，均为正变形，标准纬线之间是负变形（图2－38）。

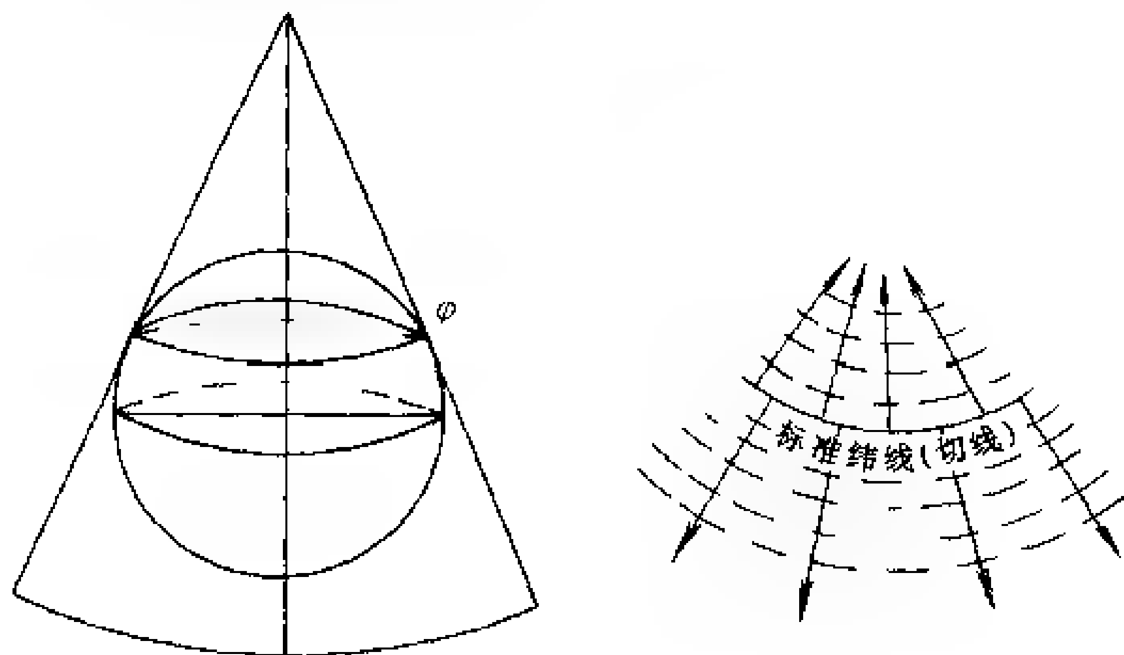


图2－37 切圆锥投影等变形线分布

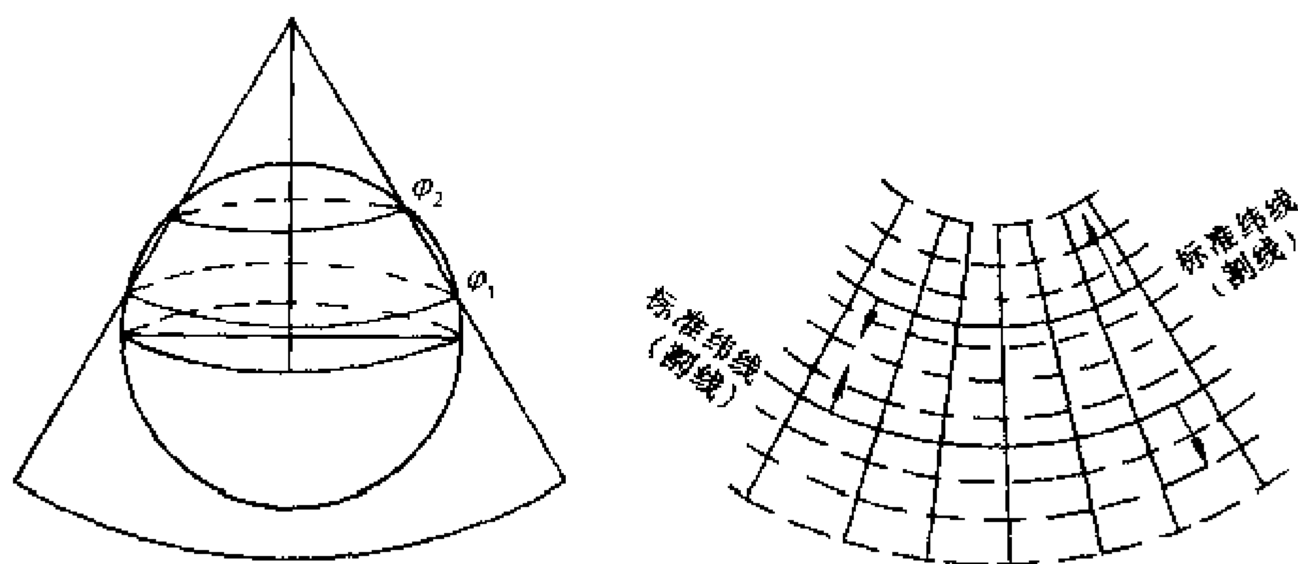


图2－38 割圆锥投影及其等变形线分布

由于圆锥投影具有上述的变形分布规律，因此该投影适于编制处于中纬地区沿纬线方向东西延伸地域的地图。由于地球上广大陆地均位于中纬地区，同时圆锥投影的经纬网又比较简单，该投影得到了广泛应用。尤其是正轴割圆锥投影，使用非常普遍。

（2）等角割圆锥投影 §3.4中已经介绍了等角割圆锥投影的投影方法，其等角条件必须是在投影平面上任意点的经线长度比与纬线长度比相等，即 $m=n$，两条标准纬线上长度比等于1。两条标准纬线以外纬线长度比大于1，为保持

等角条件，经线长度比必须相应增大；两条标准纬线之内，纬线长度比小于1，因此经线长度比也必须相应缩小。总之，在投影平面的任意点上，必须是 $m=n$。表2－3是标准纬线 $\varphi_1=+25°$，$\varphi_2=+45°$的等角割圆锥投影的各种变形值。等角割圆锥投影应用很广，我国的新编百万分一图，使用的投影便是边纬与中纬变形绝对值相等的等角割圆锥投影。除此之外，该投影广泛应用于我国编制出版的全国1:400万、1:600万挂图，以及全国性的普通地图和专题地图等。

表2－3　等角割圆锥投影（$\varphi_1=25°$，$\varphi_2=45°$）各种变形值

	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
$m=n$	1.044	1.018	1.000	0.989	0.985	0.988	1.000	1.021	1.053
P	1.090	1.036	1.000	0.978	0.970	0.976	1.000	1.042	1.109
ω	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′	0°00′

（3）等积割圆锥投影　投影的等积条件是，在投影平面上的任意点，经线长度比与纬线长度比互为倒数关系，即 $m=1/n$ 或 $n=1/m$，$P=mn=1$。等积割圆锥投影，两条割线为标准纬线，其长度比等于1。两条标准纬线之外，纬线长度比大于1，为保持 m、n 之间的互为倒数关系，其经线长度变形应向负方向增加相应的量。两条标准纬线之间，纬线长度比小于1，为保持 m、n 之间的互为倒数关系，其经线长度变形应向正方向增加相应量。等积割圆锥投影，我国常用于编制全国性的自然地图中的各种分布图、类型图、区划图，以及全国性社会经济地图中的行政区划图、人口密度图、土地利用图等。世界其他国家也广泛应用此投影。

（4）等距割圆锥投影　投影的等距条件是沿经线方向长度比等于1，即经线方向没有长度变形。等距割圆锥投影相割的两条割线，即标准纬线，长度比等于1，没有长度变形，两条标准纬线以外，纬线长度比大于1，两条标准纬线以内，纬线长度比小于1。由于等距圆锥投影经线长度无变形，因此两条标准纬线以外，面积比 $P>1$，面积变形向正方向增加，两条标准纬线以内，面积比 $P<1$，面积变形向负方向增加。等距割圆锥投影在我国使用不多。在国外如前苏联曾使用此投影出版了苏联全图。

3．伪圆锥投影

伪圆锥投影，是由法国彭纳（R Bonne）于1752年设计的一种等积投影，故又称彭纳投影。该投影的特点是：中央经线与中央纬线是没有变形的线；纬线形状仍然保持和圆锥投影一样的同心圆弧，但不同的是令其所有纬线沿纬线方向长度比 $n=1$；中央经线同圆锥投影一样仍为同心圆弧半径投影成的直线，并令其长度比等于1，即 $m_0=1$，其余经线均投影成对称于中央经线的曲线；根据其等积

条件设计，每一条纬线上的经线间隔相等。由于这种投影经纬线不正交，故没有等角性质。该投影的变形分布规律是：中央经线和中央纬线是两条没变形的线，距离这两条线愈远，其变形愈大，如图2-39所示。彭纳投影常用于编制中纬地区小比例尺区域图，例如中国地图出版社出版的《世界地图集》中的亚洲政区图、英国《泰晤士地图集》中的澳大利亚与西太平洋地图。

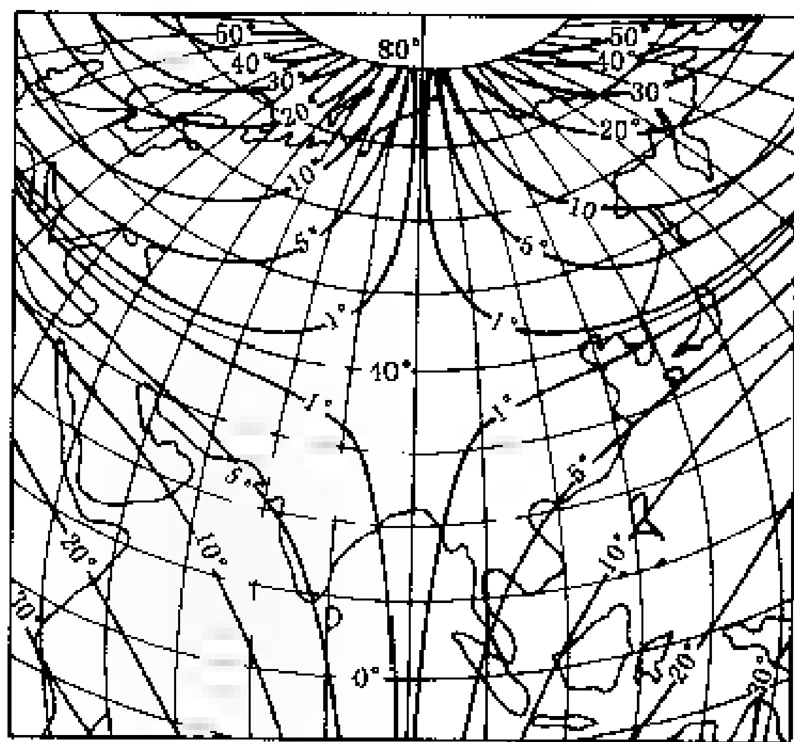


图2-39 伪圆锥投影经纬线网及等变形线形状

4.4 世界地图投影

目前用于编制世界地图的投影，从人类来看主要有多圆锥投影、圆柱投影和伪圆柱投影。我国用于编制世界地图的投影有等差分纬线多圆锥投影和正切差分纬线多圆锥投影。欧美一些国家及亚洲的日本等国用于编制世界地图的投影主要有摩尔威特投影。另外还有各国用于编制世界航海图的墨卡托投影，用作陆地卫星影像数学基础的空间斜轴墨卡托投影。

1. 多圆锥投影

设想有许多圆锥与地球球面相切，并将球面的经纬网分别投影到这些圆锥面上，然后沿某一条母线将圆锥面剪开展成平面，即得多圆锥投影。所谓多圆锥，即圆锥的顶点不是一个，各纬线是同轴圆弧，其圆弧的圆心都在中央经线上；除中央经线投影成直线外，其他经线均投影成对称于中央经线的曲线。由于多圆锥投影经纬线除中央经线和赤道以外均投影成曲线，因此有较好的球形感同时角度变形和面积变形都比较适中，尤其中纬度地区变形更小，故我国设计了等差分纬线多圆锥投影和正切差分纬线多圆锥投影，用于编制世界地图。

(1) 等差分纬线多圆锥投影 是中国地图出版社于1963年设计的一种任意性质的,不等分纬线的多圆锥投影。赤道和中央经线投影后是互相垂直的直线,赤道长度比大于1,中央经线长度比等于1;其他纬线为对称于赤道的同轴圆弧,其圆心均在中央经线的延长线上;其他经线为对称于中央经线的曲线,其经线间隔随离中央经线距离的增加而按等差级数递减;极点投影成圆弧,其长度为赤道的1/2。该投影是属于面积变形不大的任意投影,从整体构图上有较好的球形感。陆地部分变形分布比较均匀,其轮廓形状比较接近真实,并配置在较为适中的位置,完整地表现了太平洋及沿岸国家,突出了我国与太平洋各国之间的联系。中央经线和±44°纬线的交点处没有角度变形,我国境内绝大部分地区的角度变形在10°以内,只有少数地区可达13°左右(图2-40a)。面积比等于1的等变形线自西向东贯穿我国中部,我国境内绝大部分地区的面积变形在10%以内(图2-40b)。多年来,我国利用此投影编制出版了多种世界政区图和其他类型世界地图。

(2) 正切差分纬线多圆锥投影 是1976年中国地图出版社设计的另外一种任意性质、不等分纬线的多圆锥投影。该投影属于角度变形不大的任意投影(图2-41),角度无变形点位于中央经线与纬度±44°交点处,愈向高纬度角度变形递增愈快。面积等变形线大致与纬线方向一致,纬度±30°以内面积变形为10%~20%,愈向高纬面积变形愈大,在纬度±60°处增至200%,到纬度±80°以上区域可增至400%~500%。总体看来,世界的大陆轮廓形状无明显变形。我国的形状比较正确,大陆部分最大角度变形均在6°以内;大部分地区的面积变形在10%~20%以内,少部分地区最多可达±60%左右。中国地图出版社1981年出版的1:1 400万世界地图,使用的就是该投影。

2. 圆柱投影

圆柱投影是假想用一圆柱表面与地球表面相切或相割,将球面经纬网投影到圆柱表面上,再沿圆柱面的某一条母线剪开展为平面,即成圆柱投影。按圆柱与球面的相对位置,可分为正、横、斜轴投影。按变形性质不同又可分为等角、等积、等距投影。其中常用于世界地图的投影有正轴等角圆柱投影,及适用于陆地卫星影像的空间斜轴墨卡托投影。

(1) 正轴等角圆柱投影 又称墨卡托投影,是由墨卡托于1569年专门为航海目的设计的,故名。其设计思想是令一个与地轴方向一致的圆柱切于或割于地球,将球面上的经纬网按等角条件投影于圆柱表面上,然后将圆柱面沿一条母线剪开展成平面,即得墨卡托投影(图2-42)。该投影的经纬线是互为垂直的平行直线,经线间隔相等,纬线间隔由赤道向两极逐渐扩大。图上任取一点,由该点向各方向长度比皆相等,即角度变形 $\omega=0$。在正轴等角切圆柱投影中,赤道为没有变形的线,随纬度增高面积变形增大,见表2-4。在正轴等角割

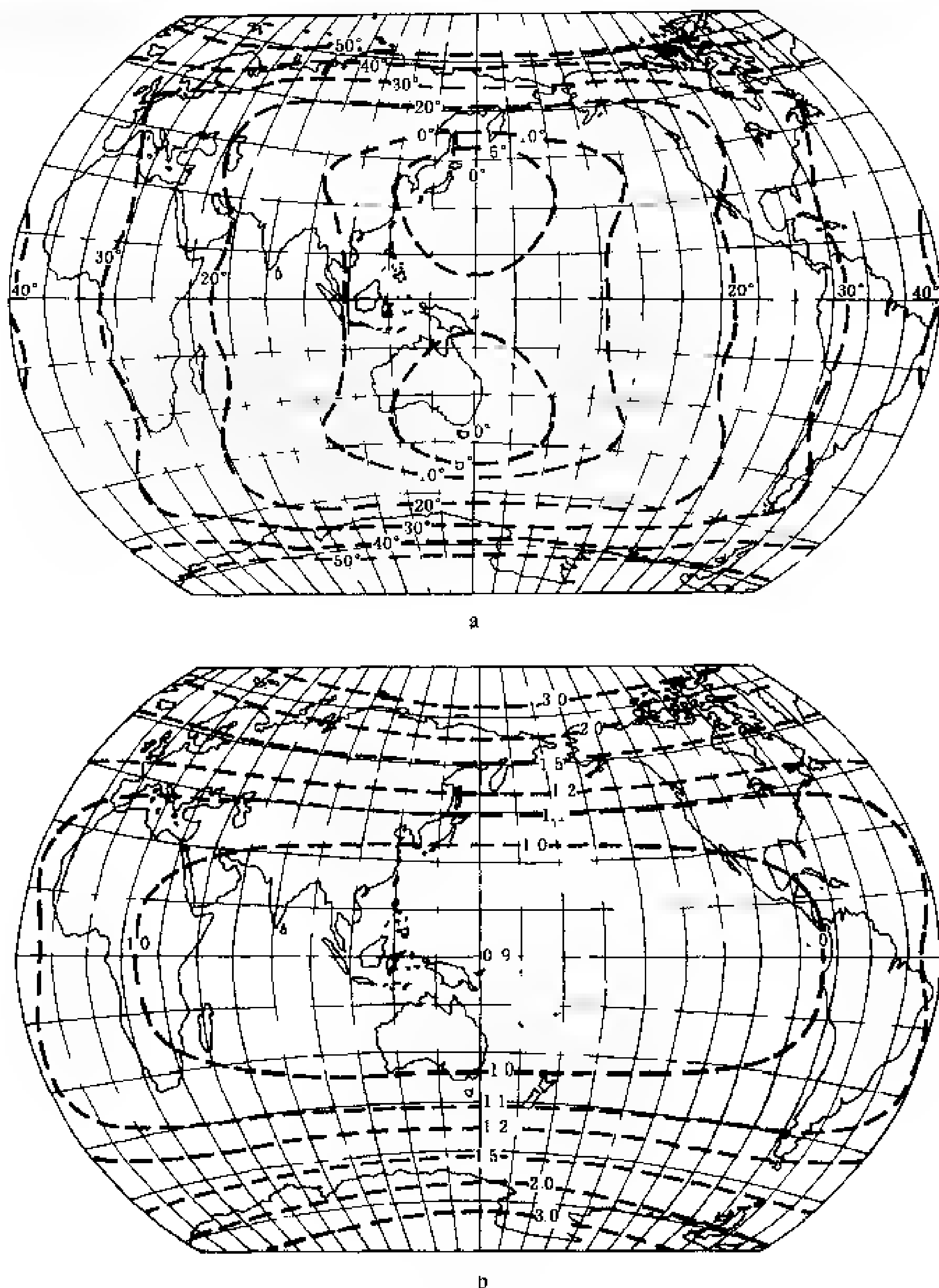


图 2-40 等差分纬线多圆锥投影

a 面积变形 b 角度变形

圆柱投影中，两条割线为没有变形的线，在两条标准纬线之间是负向变形，离开标准纬线愈远变形愈大，赤道上负向变形最大，两条标准纬线以外呈正变形，也是离开标准纬线愈远，变形愈大，到极点为无限大。

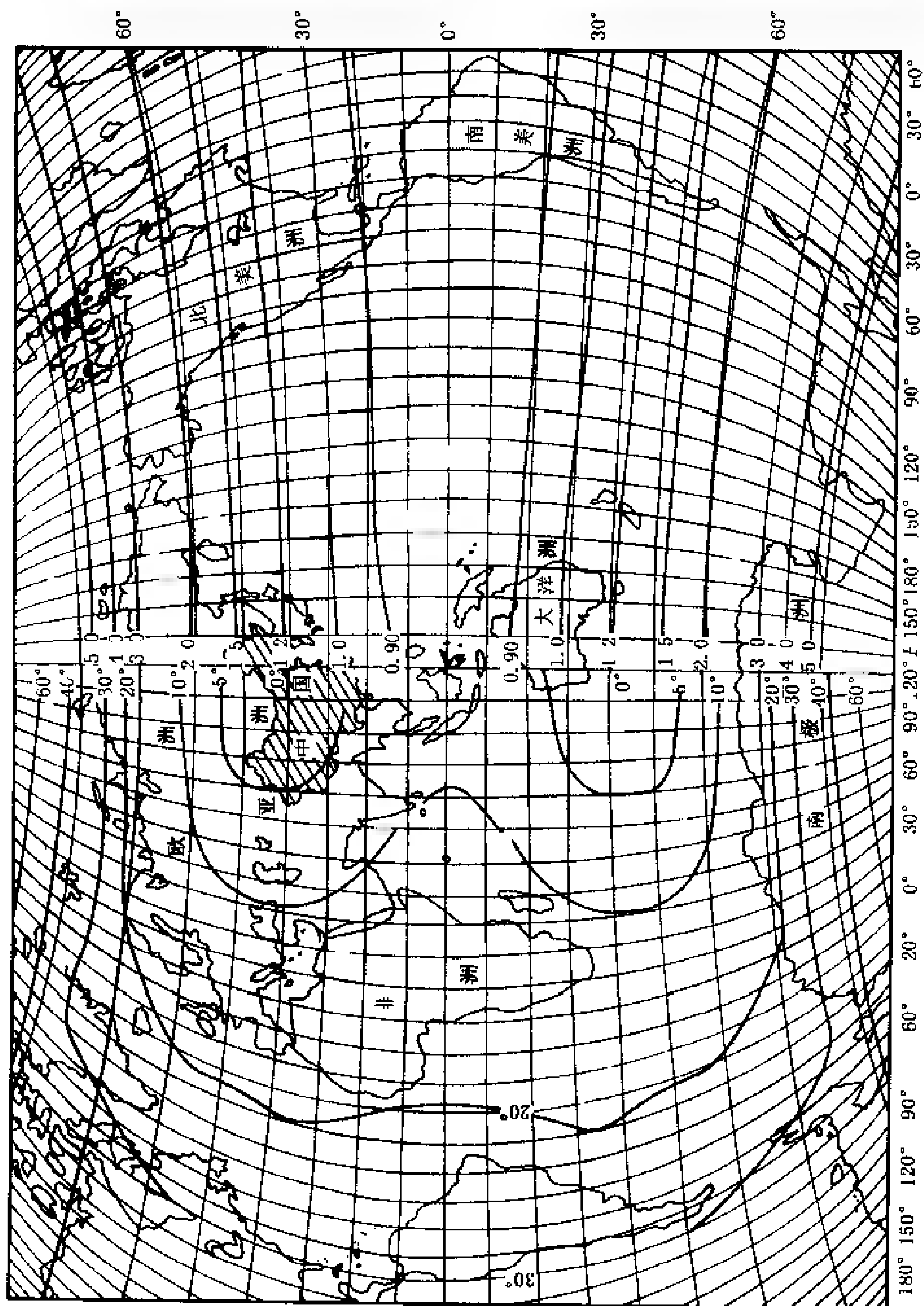


图 2-41 正切差分纬线多圆锥投影

表2－4　正轴等角切圆柱投影各种变形值表

φ	$m=n$	P	ω
0°	1.000	1.000	0°00′
10°	1.015	1.031	0°00′
20°	1.064	1.132	0°00′
30°	1.155	1.333	0°00′
40°	1.304	1.699	0°00′
50°	1.553	2.411	0°00′
60°	2.000	4.000	0°00′
70°	2.915	8.498	0°00′
80°	5.740	32.948	0°00′
90°	∞	∞	—

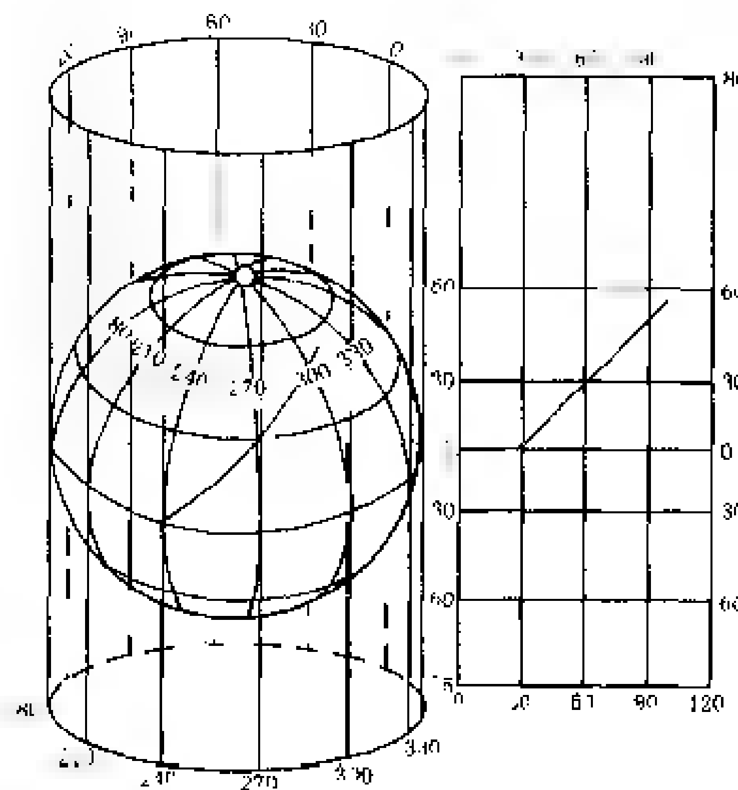


图2－42　正轴等角切圆柱投影

墨卡托投影的最大特点是：在该投影图上，不仅保持了方向和相对位置的正确，而且能使等角航线（又称恒向线）表示为直线，因此对航海、航空具有重要的实际应用价值（图2－43）。只要在图上将航行的两点间连一直线，并量好该直线与经线间夹角，一直保持这个角度航行即可到达终点。

在实际应用中，由于等角航线在地球上是一条螺旋曲线，不是最短航线，而最短航线是大圆航线，若按等角航线航行显然不经济。故先在球心投影图上确定大圆航线，因为在球心投影图上两点间连线即为大圆航线（图2－44），求出大圆航线与各经线的交角，转到墨卡托投影图上，并以圆滑曲线连接之，即成墨

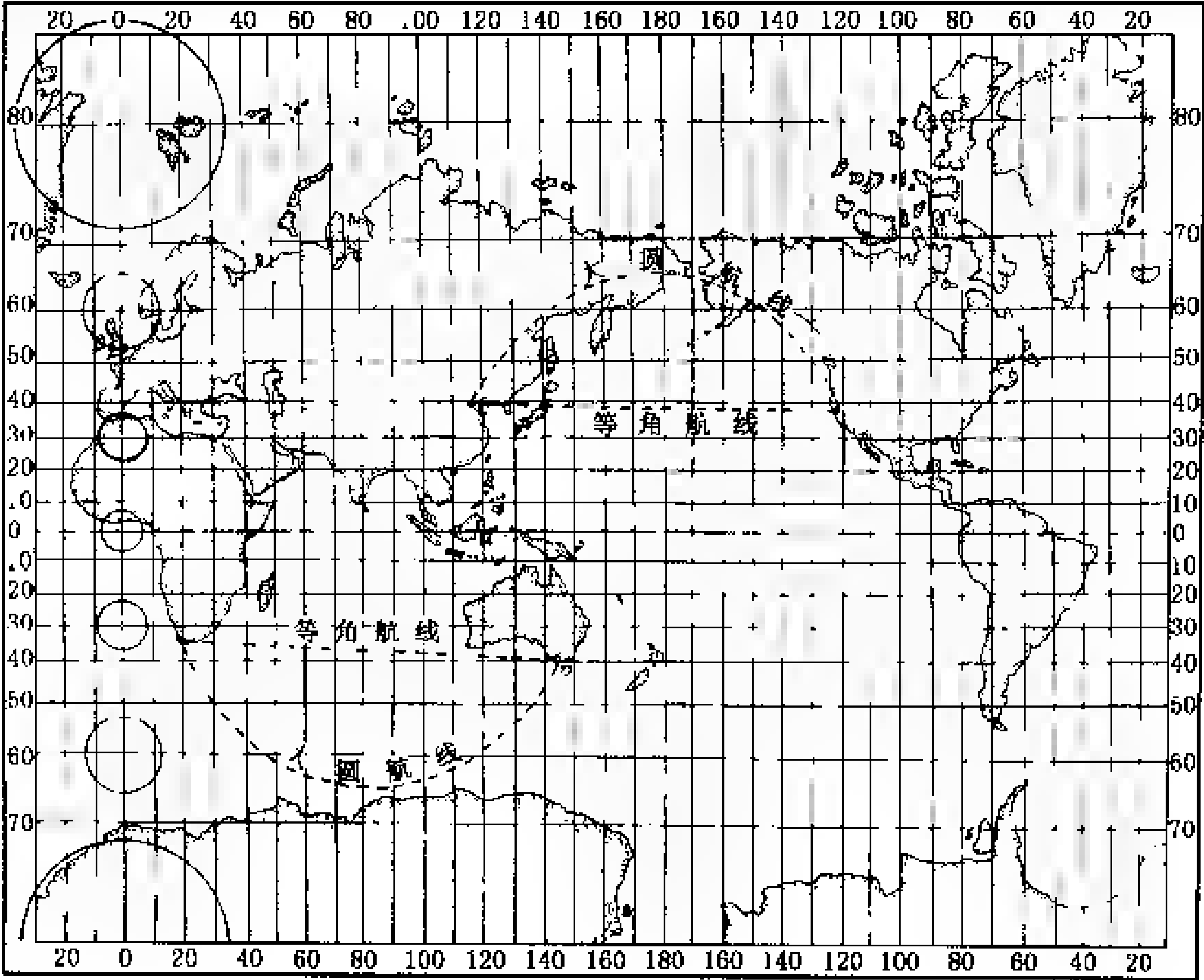


图2 43 墨卡托投影及等角航线与大圆航线

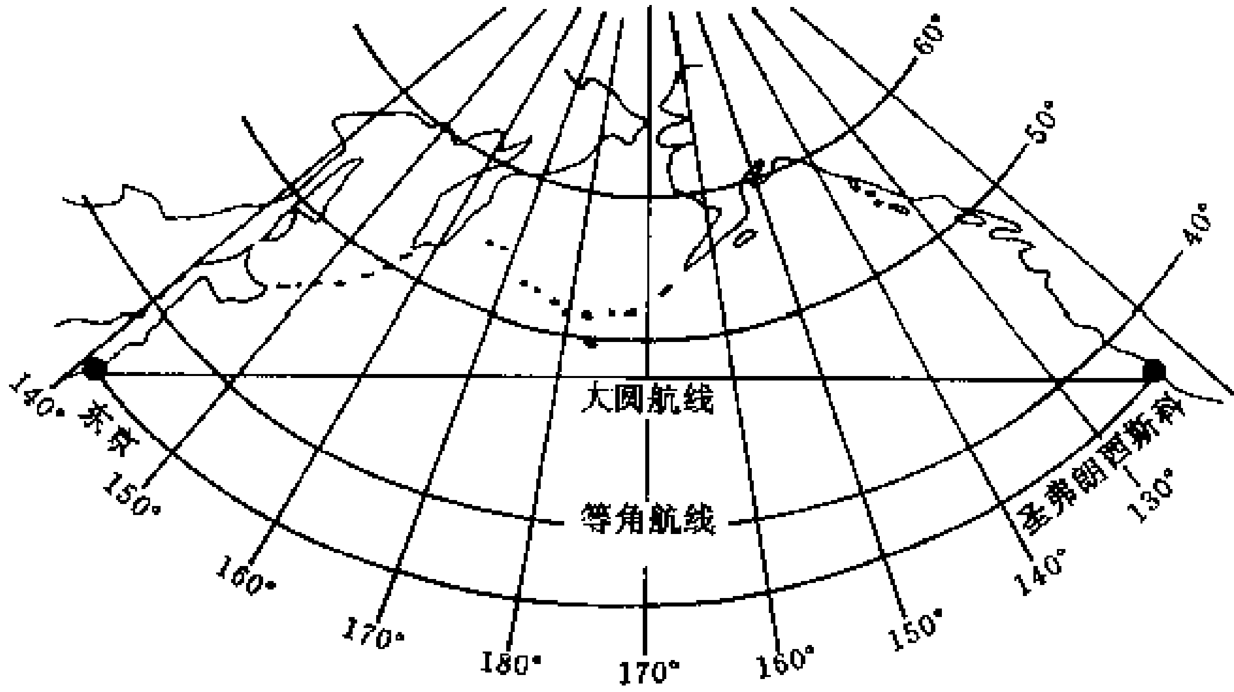


图2-44 球心投影图上的大圆航线

卡托投影图上的大圆航线。再将墨卡托投影图上的大圆航线分成若干段,每段两端点间用直线连接,这样便得到了用若干等角航线连接成的,近似于大圆航线的航行路线。

正轴圆柱投影,在16世纪的欧洲认为是由墨卡托首创的,但后来在大英博物馆的收藏品中,发现有一幅我国大约在公元940年左右用正轴圆柱投影绘制的星图抄本,可见中国人应用圆柱投影的时间比墨卡托还早600多年。

(2) 空间斜轴墨卡托投影(Space Oblique Mercator Projection)简称SOM投影

是美国针对陆地卫星对地面扫描图像的需要设计的一种近似等角性质的投影。这种投影与传统的地图投影不同,是在地面点的地理坐标(φ,λ)或大地坐标(x,y,z)基础上,又加入了时间维,即在四维空间动态条件下建立的投影。也就是说,地面点的地理坐标(φ,λ)或大地坐标(x,y,z)是时间t的函数。空间斜轴墨卡托投影是将空间斜圆柱相切于卫星地面轨迹,卫星地面轨迹成为该投影的无变形线,其长度比近似等于1。这条无变形线是一条不同于球体上大圆线的曲线,因为卫星在沿轨道运动时地球也在自转,同时卫星轨道对地球赤道的倾角将卫星地面轨迹限制在±81°之间的地区,如图2-45。

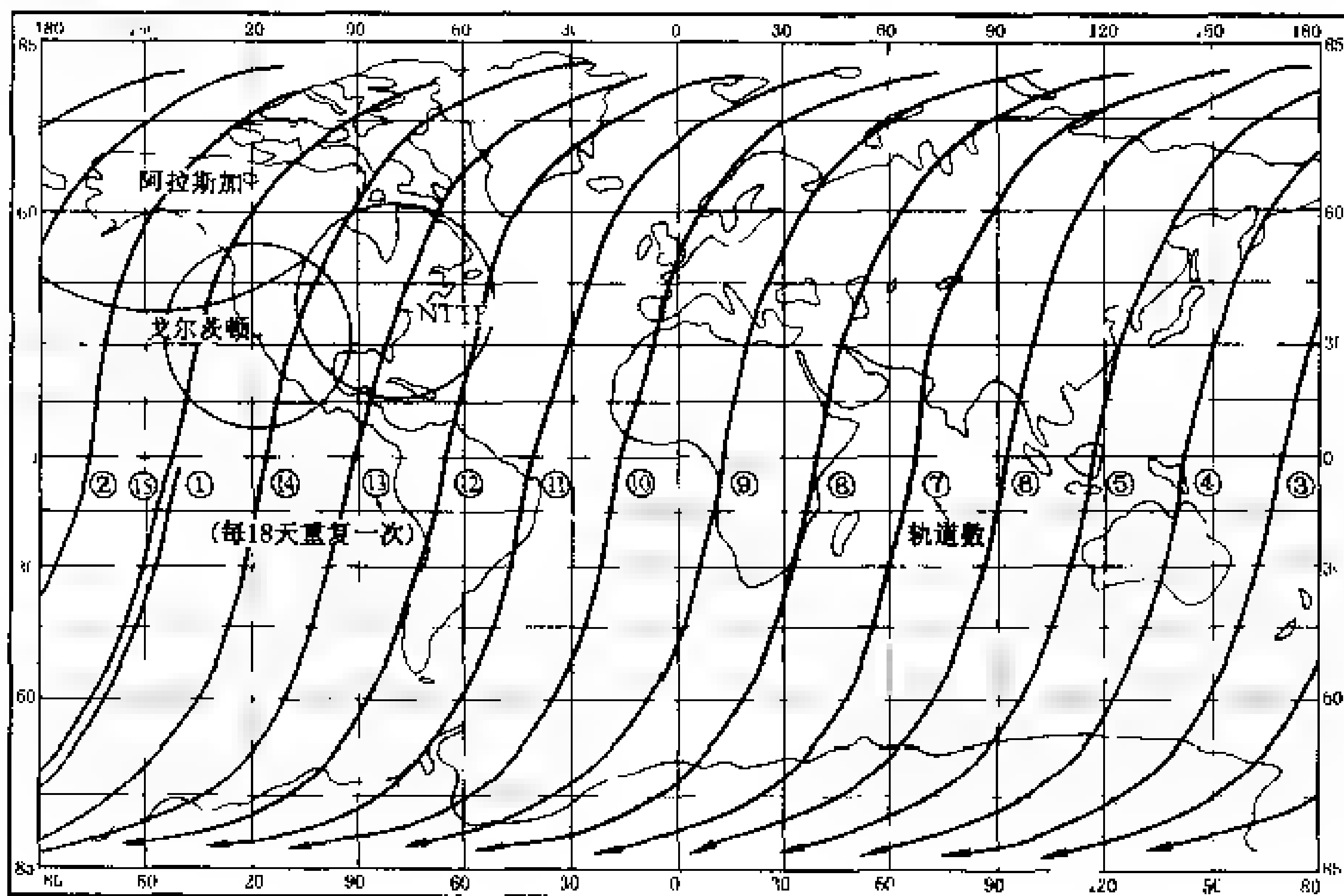


图2-45 陆地卫星轨迹示意

这种投影,是设想空间圆柱面为了保持与卫星地面轨迹相切,必须随卫星的空间运动而摆动,并且依据卫星轨道运动、地球自转、轨道运动和成像扫描镜摆动等几种主要运动条件,将经纬网投影到圆柱表面上。在该投影上,卫星地面轨迹为直线,卫星成像扫描线与卫星地面轨迹垂直,并且能正确反映上述几种运动的投影影响,可将地面景像直接投影在SOM投影面上。

3 伪圆柱投影

伪圆柱投影,是在圆柱投影基础上,规定纬线仍然为平行直线,而经线则根据某些特定条件而设计成对称于中央经线的各类曲线的非几何投影。这类投影的纬线形状同圆柱投影,为平行直线;经线则投影成任意曲线,但通常多为正弦曲线或椭圆曲线。从变形性质看,伪圆柱投影经纬线投影后不正交,没有等角性质,只有等积性质和任意性质两种。在具体应用中,以等积性质居多。

(1) 桑逊投影　是将纬线设计成间隔相等的平行直线,经线设计成对称于中央经线的正弦曲线,具有等积性质的伪圆柱投影(图2-46)。该投影是由法国人桑逊(N. Sanson)于1650年所创,后于1729年由英国人弗兰斯蒂德(J. Flamsteed)用来编制世界地图而出名,故又称此投影为桑逊-弗兰斯蒂德投影(Sanson-Flamsteed Projection)。这个投影的特点是:所有纬线长度比均等于1,即 $n=1$;中央经线长度比大于1,距中央经线愈远其长度比愈大;面积比等于1,即面积变形等于0。此投影最早用于编制世界地图,但更适合编制位于赤道附近南北延伸的地图,例如非洲地图、南美洲地图等。

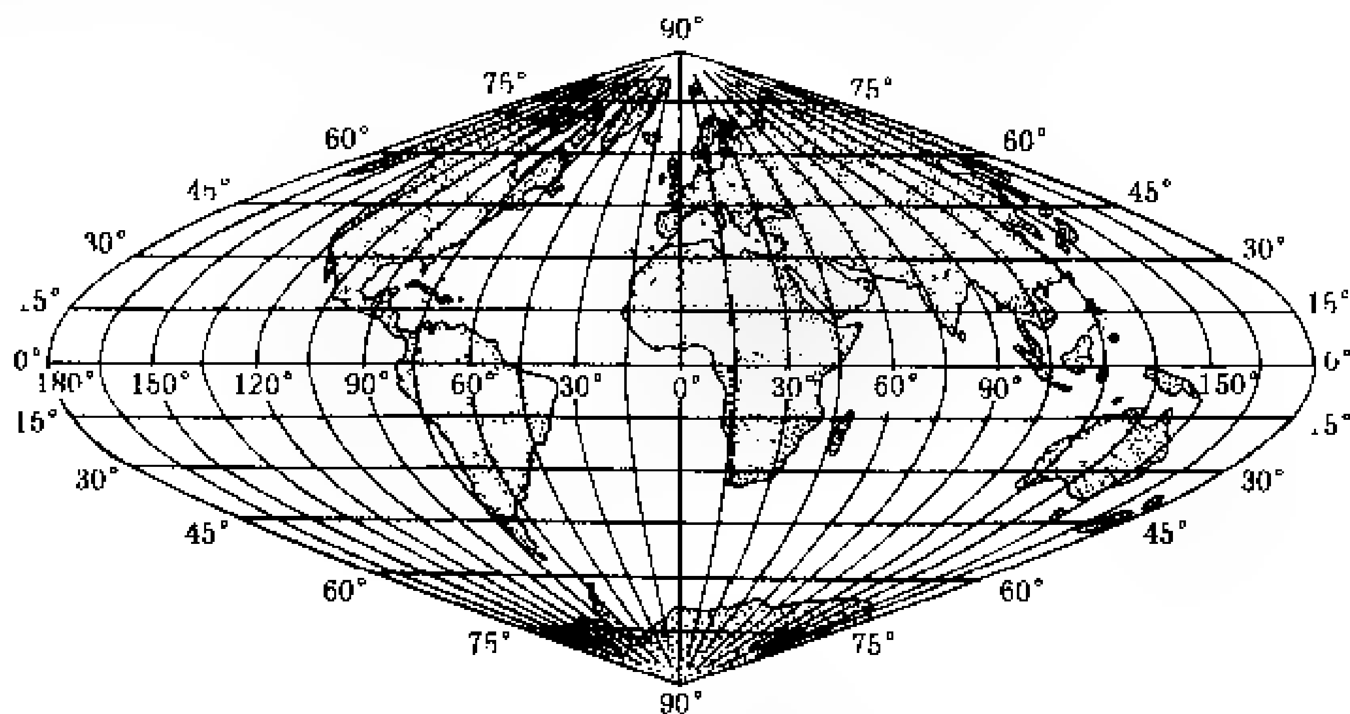


图2-46　桑逊投影

(2) 摩尔威特投影　是一种等积性质的伪圆柱投影,由德国摩尔威特(K. B. Mollweide)于1805年设计而得名。摩尔威特投影的中央经线为直线,距离中央经线东西经差±90°的经线构成一个大圆,其面积等于地球面积的1/2,其余经线为椭圆;赤道长度是中央经线的2倍,纬线间隔是由赤道向两极逐渐缩小的平行直线;同一条纬线上经线间隔相等。中央经线和±40°44′11″.8的交点为没有变形的点,离这两点距离愈远变形愈大,而且向高纬比向低纬增大的速度快。摩尔威特投影用于编制世界地图或东西半球图(图2-47)。

(3) 古德投影　由于伪圆柱投影都存在远离中央经线变形增大的缺陷,为了使投影后的变形减小,并且使各部分变形分布相对均匀,[illegible]此,美国古德(J. P.

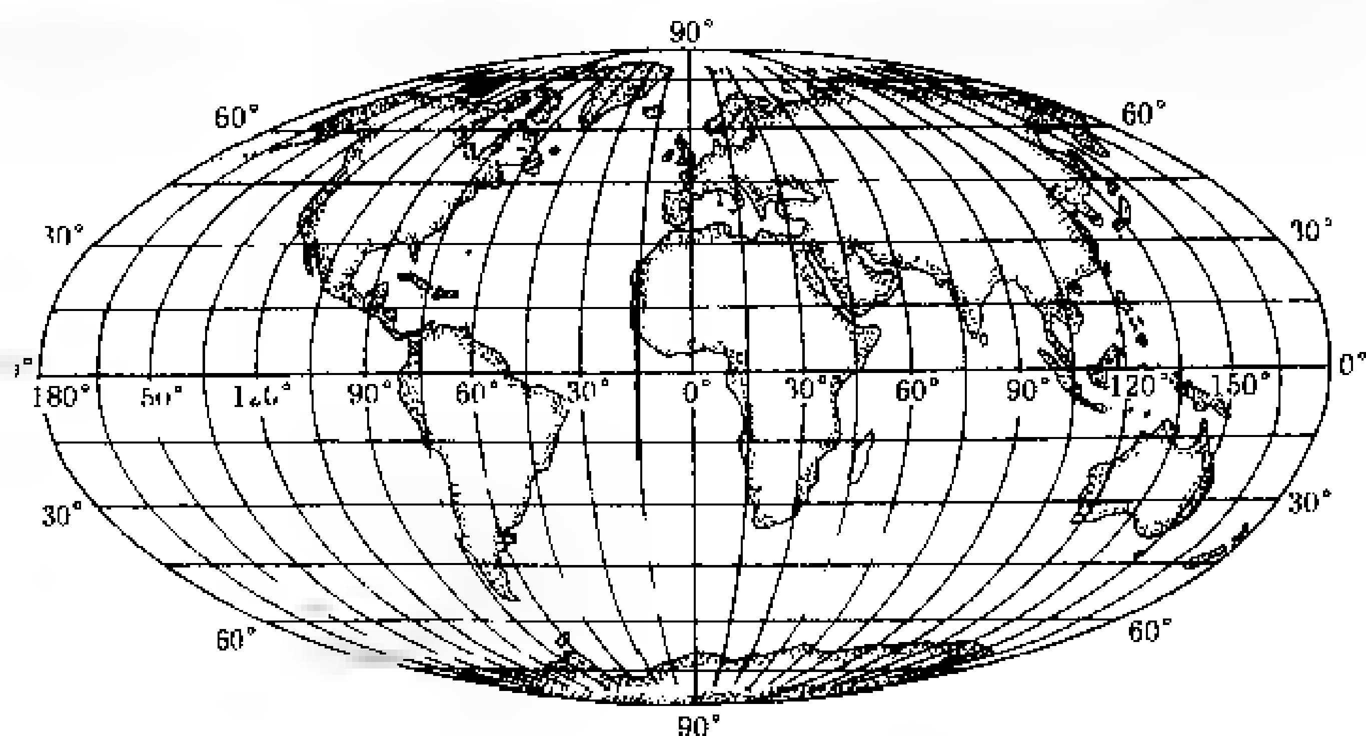


图2-47 摩尔威特投影

(Goode)于1923年提出了一种分瓣伪圆柱投影方法来绘制世界地图。其设计思想是将全制图区域根据需要,确定若干个中央经线位置,然后进行分瓣投影,但要求分裂的各部分必须在赤道处连接在一起,如图2-48所示。采取这种投影方法的优点是,每瓣中央经线两侧投影区域不至于过大,因此每瓣经线的弯曲度减小,即经线交角与实地差别减小,变形也就减小。如果以表现大陆为主的世界地图,则要求各大陆部分保持完整,不同大陆部分可采用不同中央经线。如果以表现大洋为主的世界地图,则要求各大洋部分保持完整,而将大陆割裂开来

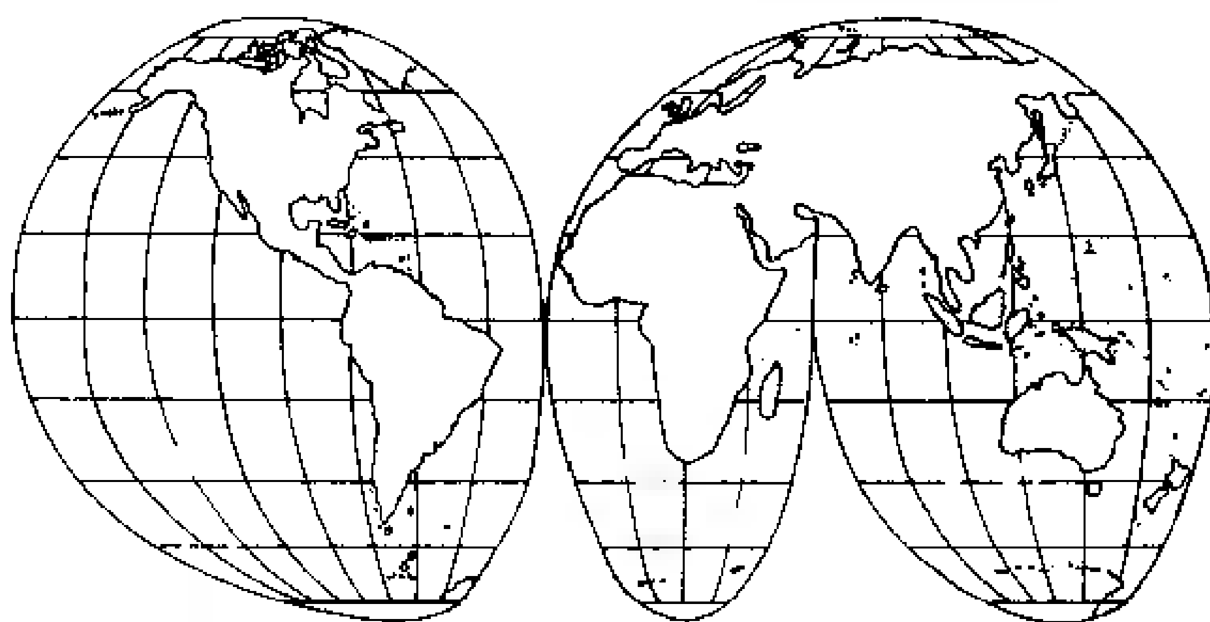


图2-48 古德投影经纬网

为了进一步使大陆部分表现的好些,克服桑逊投影高纬部分变形大的缺憾,可采取分瓣组合投影的方法。具体作法是纬度±40°之间区域用桑逊投影,在纬度±40°以外部分采用摩尔威特投影,构成摩尔威特-古德投影,如图2-49所示。

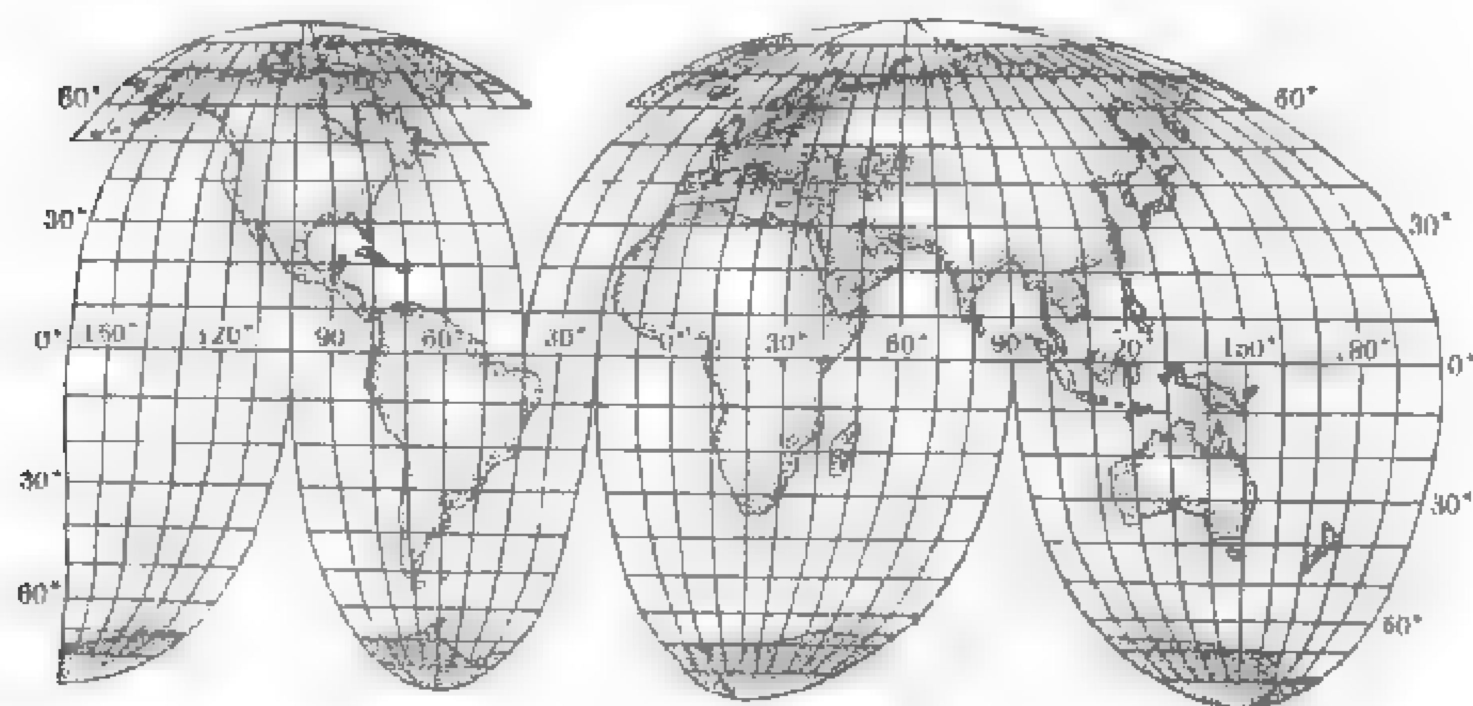


图2-49 摩尔威特-古德投影

[illegible]

[illegible]

3. 地图投影变形表现在哪几个方面？为什么说长度变形是主要变形？

4. 地图投影按变形性质分为哪几类？它们的特性是什么？

5. 什么叫长度比、长度变形；面积比和面积变形？

6. 什么是主比例尺？什么是局部比例尺？一般地图上标的比例尺是属于上述哪一种？如何正确理解和使用它？

7. 墨卡托投影具有什么特性和用途？

8. 说明高斯－克吕格投影的变形性质、变形分布规律及用途。

9. 为什么说圆锥投影适于作沿东西方向延伸地区的地图？

10. 为什么说伪圆柱投影都没有等角投影？

11. 举例说明选择地图投影的一般原则。

参考文献

1 张力果等.地图学.北京:高等教育出版社,1991

2 胡毓钜等.地图投影.北京:测绘出版社,1981

3 吴忠性 .地图投影 .北京:测绘出版社,1980

4 李汝昌,王祖英 .地图投影 .武汉:中国地质大学出版社,1992

5 金谨乐等 .地图学 .北京:高等教育出版社,1987

6 张世涛 .地图 ABC. 北京:解放军出版社,1993

7 A.H.罗宾逊等.地图学原理.第五版.北京:测绘出版社,1989

8 刘基金等 .全球定位系统原理及其应用 .北京:测绘出版社,1993

9 陈健,薄志鹏 .应用大地测量学 .北京:测绘出版社,1989

10 A H Robinson et al Elements of Cartography. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc, 1995

第3章

地图概括

地图学上使用的"概括"一词，源于拉丁文 generalis，俄文演绎为 Генерализация。中华人民共和国成立初期，我国将 Л.С. 加雷耶夫斯卡娅的《制图学》翻译成书时，Генерализация 一词译作"制图综合"，这个名词为测绘界使用，相沿至今。

根据《牛津英汉字典》，译文出版社《新英汉词典》和地质出版社《俄华简明测绘词典》，以及我们对这一名词本义的认识，将英文的 Generalization，俄文的 Генерализация 一词，在地图学中统一为本义的"概括"，这是"地图概括"一词的由来。

地图概括是地图构成的重要法则之一，是地理空间如何演变为经过概括的地图模型问题。从以图形显示的表象地图(Mental Map)到古代地图的生产，都贯穿了地图概括的法则，先有人们对表象(或称心象)的简化概念，才产生了经过对地物概括的地图。

现在所制作的普通地图，就是对地面实施测量或对地面遥感影像——航空像片和卫星图像实施符号化的结果。

从影像转变为图形，表示什么？如何表示？第一步就要遵照制图规范中地图概括的原则，完成地形制图的初稿——实测或航测原图。随后在比例尺变换和不同图种制图中，根据编图细则(含地图概括的原则)，产生新的地图。专题地图也是对空间数据进行概括的结果。

地图生产的发展，传统的、手工的技术逐渐不适应信息时代的步伐，空间数据的计算机处理促进了地图概括的定量化。但地图概括的原则与方法依然影响着空间数据定量化的研究和实践同时也是一些现代地图理论，如模型论的基础。地学工作者为了完成一个区域、一项课题的研究，经常要自己动手编制地图，也需要了解与运用地图概括的基本原则。

§1 地图概括概述

1.1 地图概括的性质

航空像片是地表真实的写照。但航空像片已经是地表的缩小，要在一张可

能比航空像片的比例尺还要小得多的地图上，用符号全部表示它的地理内容是不可能的。因此，在不同用途的地图上，表示地物是要经过选择的（图 3－1a，b）。

航空像片的地物表示到地图上时，要有主次之分，例如像片上道路、桥梁很多，但只有我们希望表示的道路和相应的桥梁才把它画在地图上。所以地图上的地物应经过分类和分级处理（图 3－2a，b），不符合制图目的的地物类别，都要舍弃掉。

从航空像片上入选为地图内容的地物，随着地图比例尺的缩小，其形状和数量势必化简，才能在有限的图纸上清晰地表示。例如河网是必须表示的地物类别，但地图比例尺缩小了，就需要删减短小的支流和支渠（图 3－3a，b，c），曲折的河床（图 3－4a）也要随着比例尺的缩小而删掉一些过密过小的弯曲（图 3－4b）。有时，一些非常重要的地物需要保留在缩小了的地图上，它们会挤压在一起，在都不能舍弃的前题下，除了要保证地物的位置精度和地理相似性，适当的图形夸张或移位也是必要的（图 3－5）。

概括，就是采取简单扼要的手法，把空间信息中主要的、本质的数据提取后



a

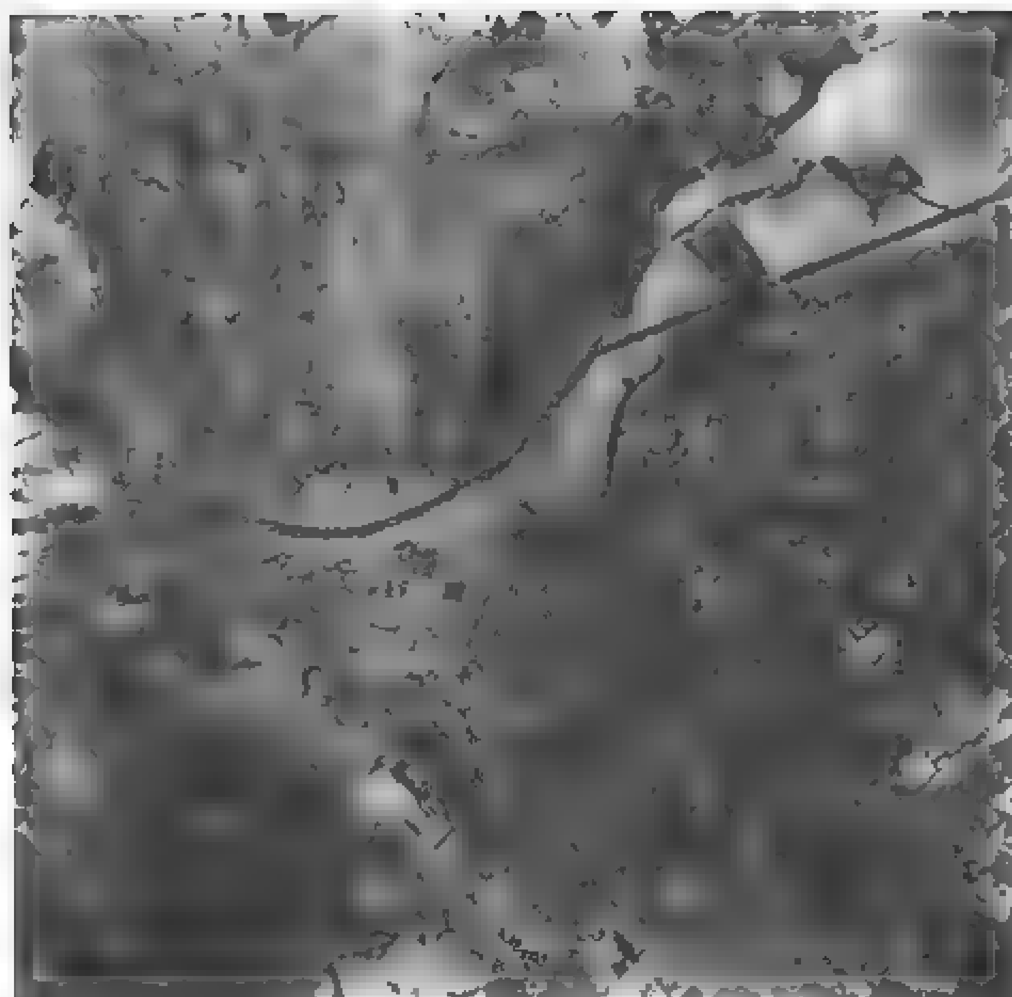


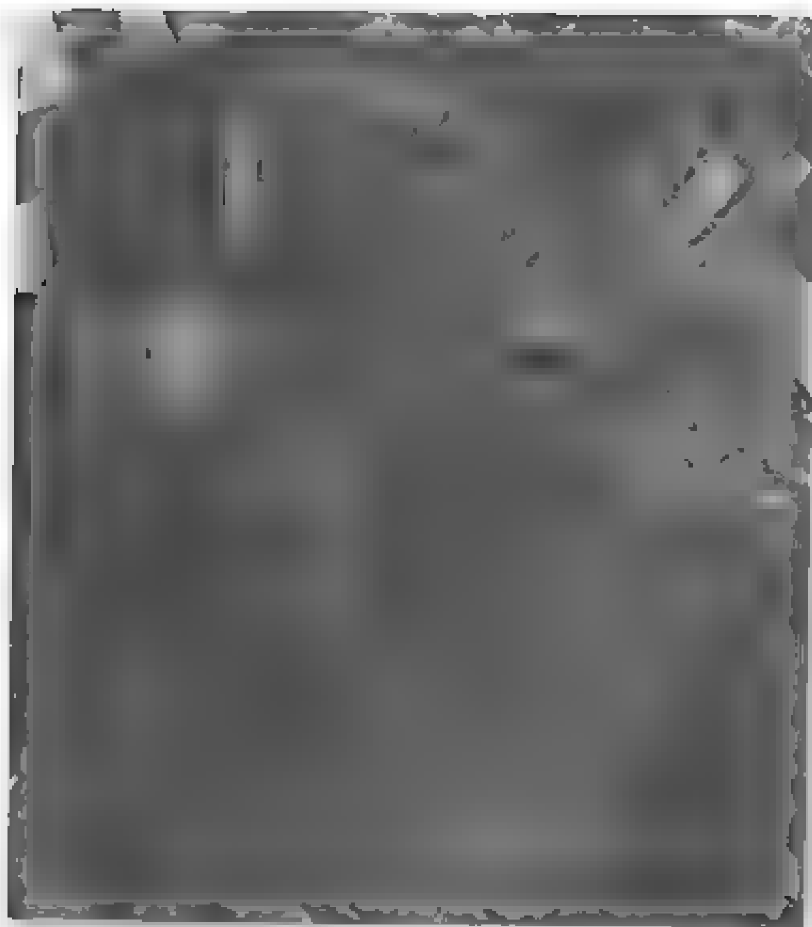
b

图3 1 航空像片与地形图

联系在一起,形成新的概念。地图在不同用途和比例尺变换的过程中势必删繁就简、舍末逐本,以求客观地反映地理实体,达到地图内容详细性与清晰性的对立统一,几何精确性与地理适应性的对立统一。地图概括的任务,就是要研究从原始图稿或数据到编制成各种新地图时所采用的概括原则和方法,以实现原始图稿(数据)到新编地图内容的转换。

分类和选取是进行地图概括时主要的手段。但是,传统的地图概括方法,主观性是难以避免的。克服地图概括中的主观性,还要依靠计算技术的进步。现在地图概括的研究,已经从早期定性的分析、综合为主,推进到量化和建立多种数学方法的数据处理,这些工作都在计算机中加以实践。现在,国内外许多学者仍在对地图概括的原理、方法进行着不懈的探究。





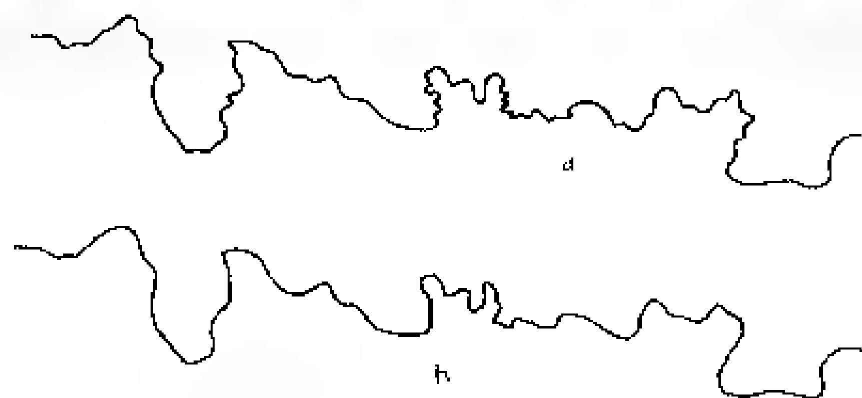


图3-4　河弯的删减

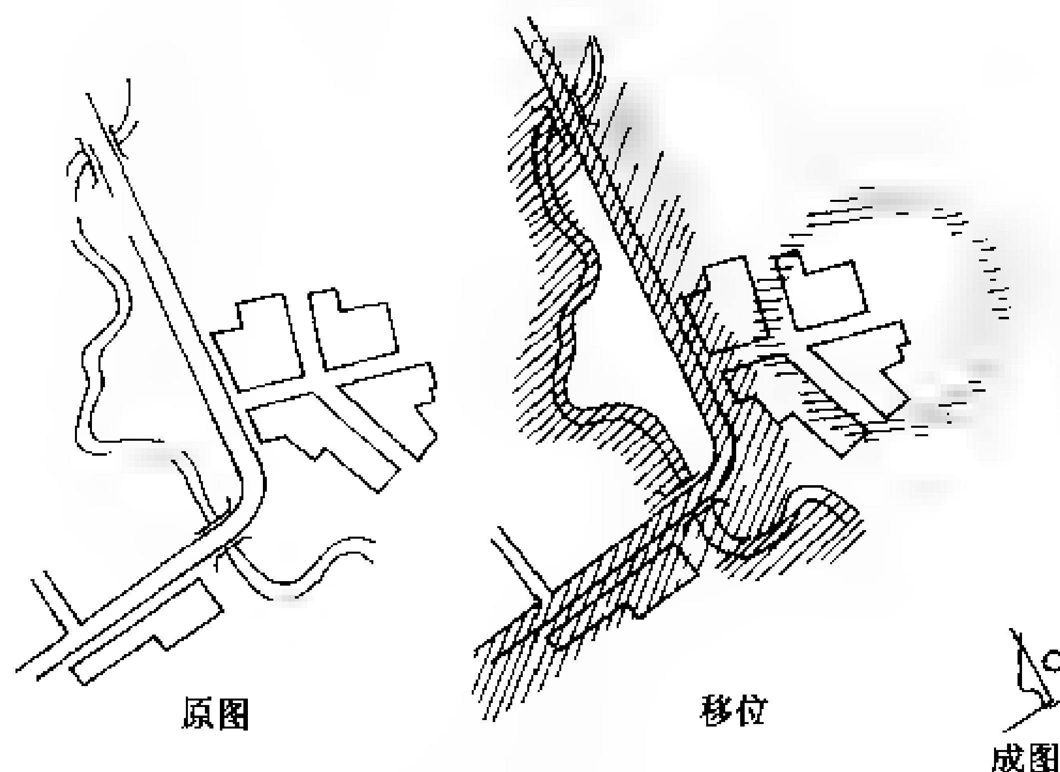


图3-5　移位

1.2　实施地图概括的四个步骤

地图概括的方法，可以归纳为：分类、简化、夸张和符号化四个步骤[1]，这四个步骤只是叙述的次序，而实施地图概括时，它们是互为影响、不能截然分开的。

1．分类

可定义为空间数据的排序、分级或分群。根据地理信息的异同，在集合成类的过程中，既有归并，也有拆分。例如"河流"，它的词义是：沿地表线形低凹部分集中的经常性或周期性水流。它表示了常流河段或季节性河段，而常流河又分为通航河段和不通航河段。当需要细分时，在地图上则如图3-6a所示，当需要合并概念时，则如图3-6b所示。

一般地说，地图内容的分类是依照地物的属性划分的，这种划分由需要及图

[1] 参考文献2，第45页。

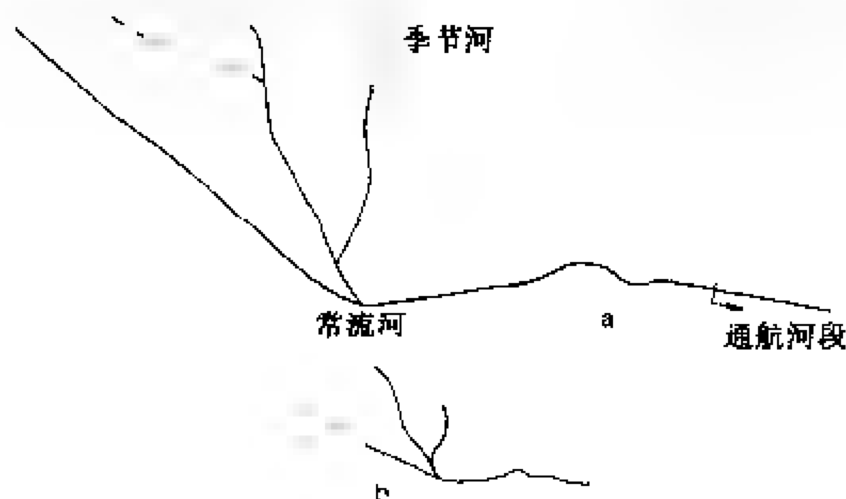


图3 6 河流

解限度而定 例如土壤类型，一张长江流域土壤类型图的分类可如图3-7所示。分类的详细程度并不说明地图质量的好坏,这样的分类方法可以称为定性(qualitative)特征的概括,而不要称为质量(quality)特征的概括。

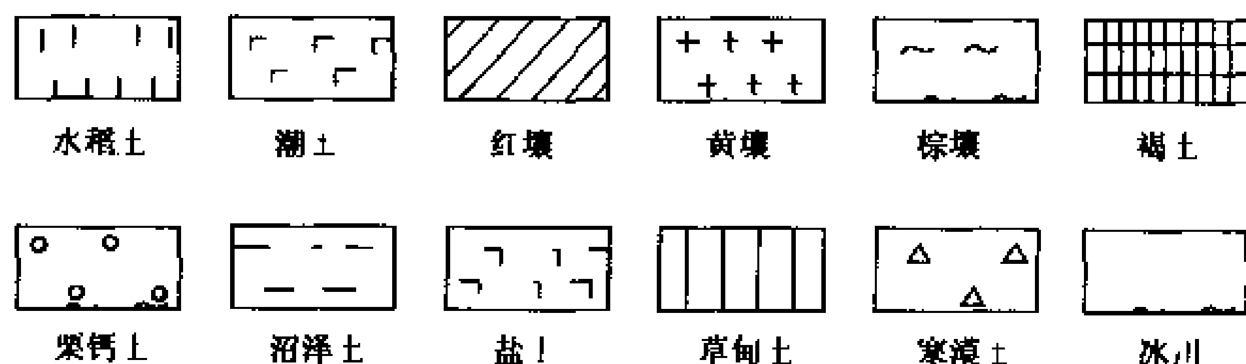


图3-7 长江流域的土壤分类

分类的另一种方式是分级,即空间信息进行数量统计时,数据划分为数学定义的级别。例如高程值是连续面上的离散数据,而等高线是由等间隔的或渐增的计量曲线所构成。将统计值分为若干级表示,有助于统计面的定性及定量分析(图3-8)。

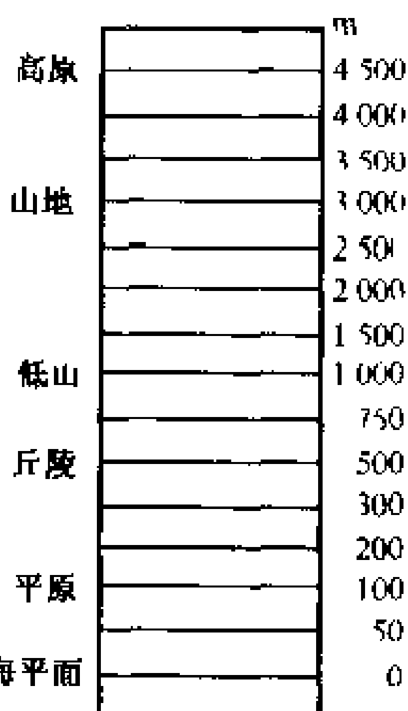


图3-8 地貌的高程分级

2. 简化

可定义为显示空间数据的重要特征,删弃不重要的细部。依比例尺和目的的不同,它包括地理信息的取舍和图形化简两个方面。

假定有一组道路,普通公路的宽度为30 m,简易公路的宽度为20 m,大车路的宽度为10 m,在1:20万的地形图上,相应的宽度为0.15、0.1、0.05 mm。在我国的西部省区,由于交通还不够发达,它们会被全部选取上;而在我国东部省份,若全选取上便会使线状道路过分稠密,因而必然会将一些低等级道路舍弃。制图规范提出了一个因比例尺变化而

设定的取舍标准，称为比例尺概括。在比例尺变更时，图形的形状也要删繁就简，例如图 3－9a 的公路图形告诉我们，从 A 点到 B 点要经过一段弯曲的道路。具备地理知识的读者知道，公路是蜿蜒在一个陡坡上，当比例尺缩小到它的1/4时（图 3－9b），为保证地图符号绘制在公路的相应位置上，需要简化道路，它要按比例删去几次弯曲并且对一些路段进行“裁弯取直”，使图形显得简明清晰。

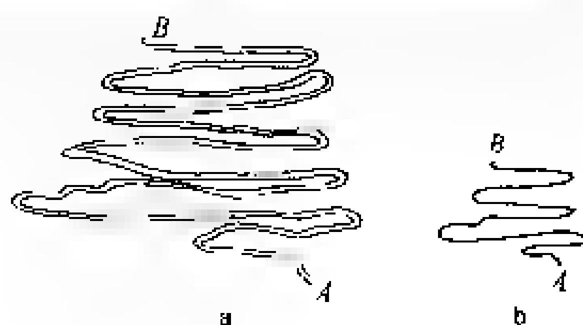
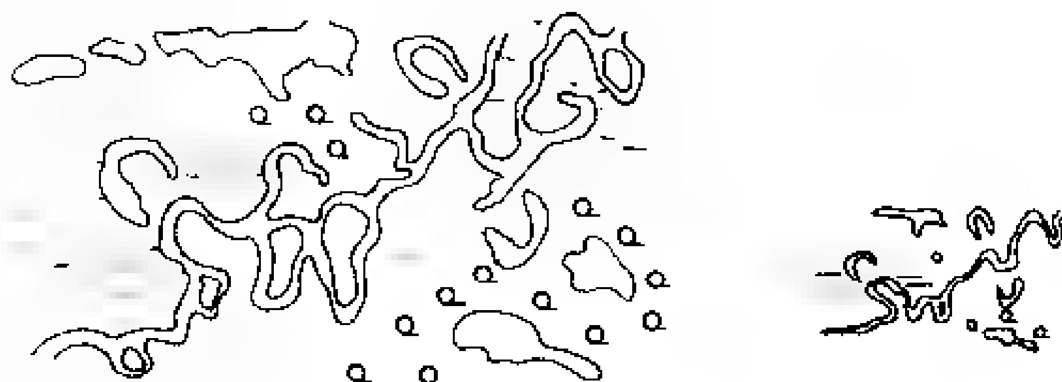


图 3－9 蜿蜒公路的表示

选取符合制图目的的某些内容，舍去与目的无关的某些内容或某项中的部分内容；选取反映地图区域特征的某些内容，舍去不反映区域特征的某些内容或某项中过多的内容，有利于地图使用和区域特征的显示，这种选取属于目的概括。例如图 3－10 中沼泽地、林地和湖泊的关系。


图 3－10 沼泽地的作用和表示

当比例尺缩小以后，不是保存零碎的地物而是强调它的地理适应性。所以简化过程也对图形的内部结构进行化简，不化简就会影响地图的易读性。

3. 夸张

可定义为提高或强调符号的重要特征。它与编图的目的和用途密切相关，并充分体现在地图设计过程中。

编图的目的不同，影响了地图内容的详简，图 3－11 是在相同比例尺的情况下中国海岸的形状。a 图是参考用图，中国自长江口向北的上升海岸和向南的沉降海岸很清楚：上升海岸滩涂广阔且沙洲出露很多，沉降海岸岸线弯曲且形成许多良港；b 图则是同一区域用作统计地图的地理底图，岸线弯曲的部分作了较多的平滑，虽然也维持了上升海岸和沉降海岸的一般特征，但一些海港已不复存在了。

地图从设计图例开始便采用了夸张的方法。普通公路宽度为 30 m，在 1∶100 万地形图上，它在地图上的相应宽度只有 0.03 mm，但是地图规范中的公路符号宽度达 0.5 mm，比图上的实际宽度夸张了 16 倍。

在地图设计中,图形的夸张还应符合审美和寓意的需要。如果我们实测黄河河段的宽度,会发现黄河中游托克托至孟津段是峡谷,它比上游和下游的黄河宽度都要狭窄许多倍。然而,在小比例尺地图上描绘黄河时,总是从源头到河口采用渐粗的实线表示,意味着流量不断增加、河床逐渐加宽。



图3-11 海岸的概括

美国阿恩海姆(R. Arnheim)曾对图形夸张作过这样的论述:"缩小的图形不是用简单的省略一些细节取得的,艺术家和地图学者都承认,他们面临的肯定任务是创作与所要表示的自然形态相适应的新图形,而这种新图形也不是原稿的翻版。尺寸的变化为制图者提供了极大的自由度,以便用它创作成更易读和更恰当的视觉图形[①]"由此可见,夸张既是地图艺术性的需要,也是地图技术上的需要。

4 符号化

符号化就是将空间数据通过分类、简化、夸张等方法所获得的记号,根据其基本特征、相对重要性和相关位置制定成各种图形。地图上的一切都体现出它是符号的模型,制图者就是运用这些记号,使空间数据的每一个概念,构成的每一个事件,以及它的地理分布来实现符号化。制作符号就是使空间数据成为视觉可见的图形。因此,符号化的过程也就是视觉化的过程。

由于符号覆盖了整张地图,以后的章节还将对符号化和符号制图中的许多问题进行专门的分析。

1.3 制约地图概括的因素

根据地图概括的性质,对地图概括产生影响的因素主要有:地图的用途和主题、比例尺、地理区域特征、数据质量和图解限制。

1. 地图的用途和主题

编制地图的目的与任务不同,需要在图面上反映空间数据的广度和深度也

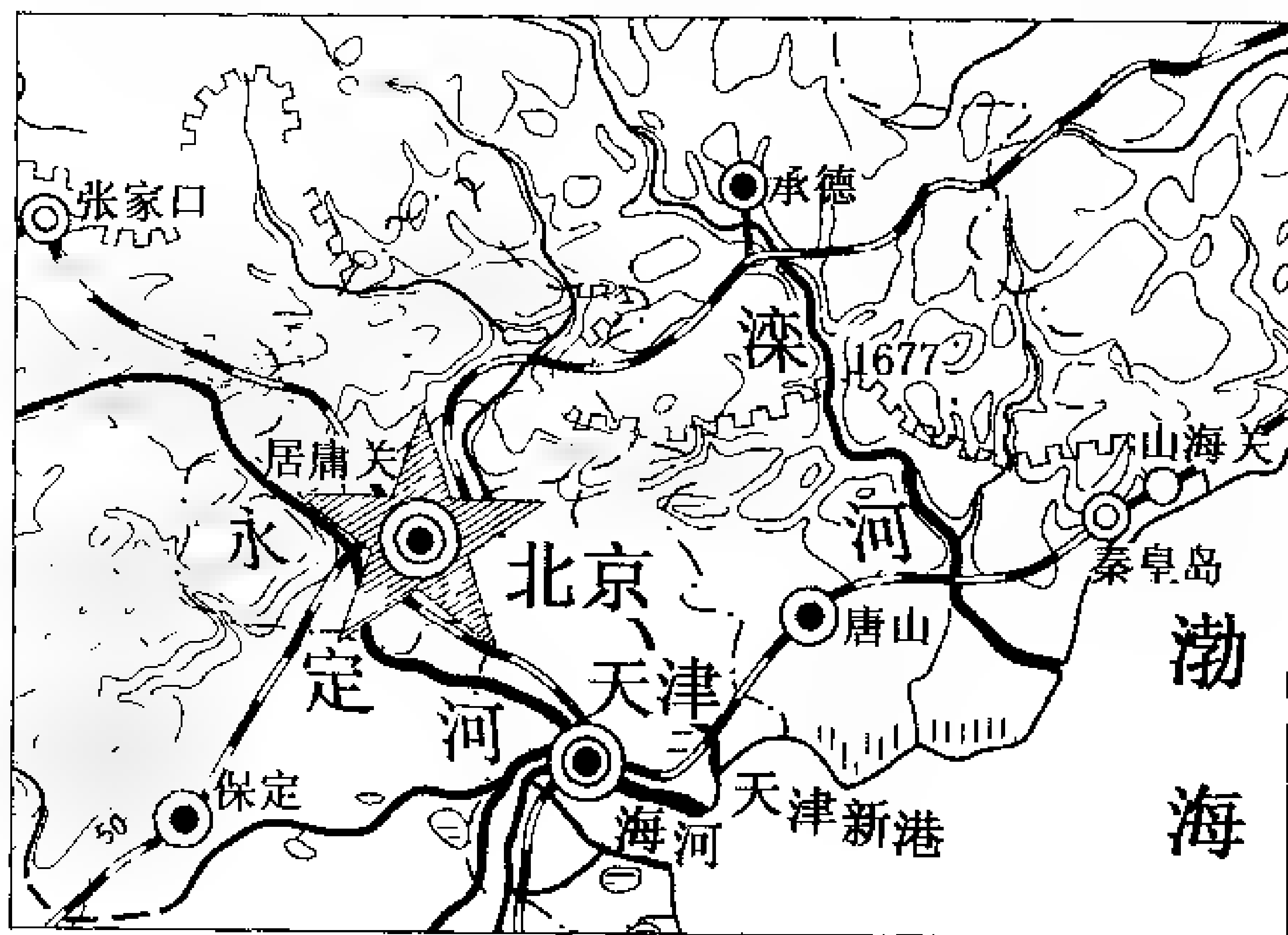
① 参考文献2,第457页

不同，因此地图的用途是地图概括的主导因素。例如，同是比例尺 1:100 万的华北地区地图，中学用的教学挂图和参考性的行政地图，内容繁简有很大的差别。前者只要满足教学大纲的要求，区分行政省份、主要山川和城市，以及反映一般自然地理概念即可(图 3－12a)；但后者除了上述内容外，还需要表示出华北地区所辖各县的行政界线、详细的河流和交通线(图 3－12b)。

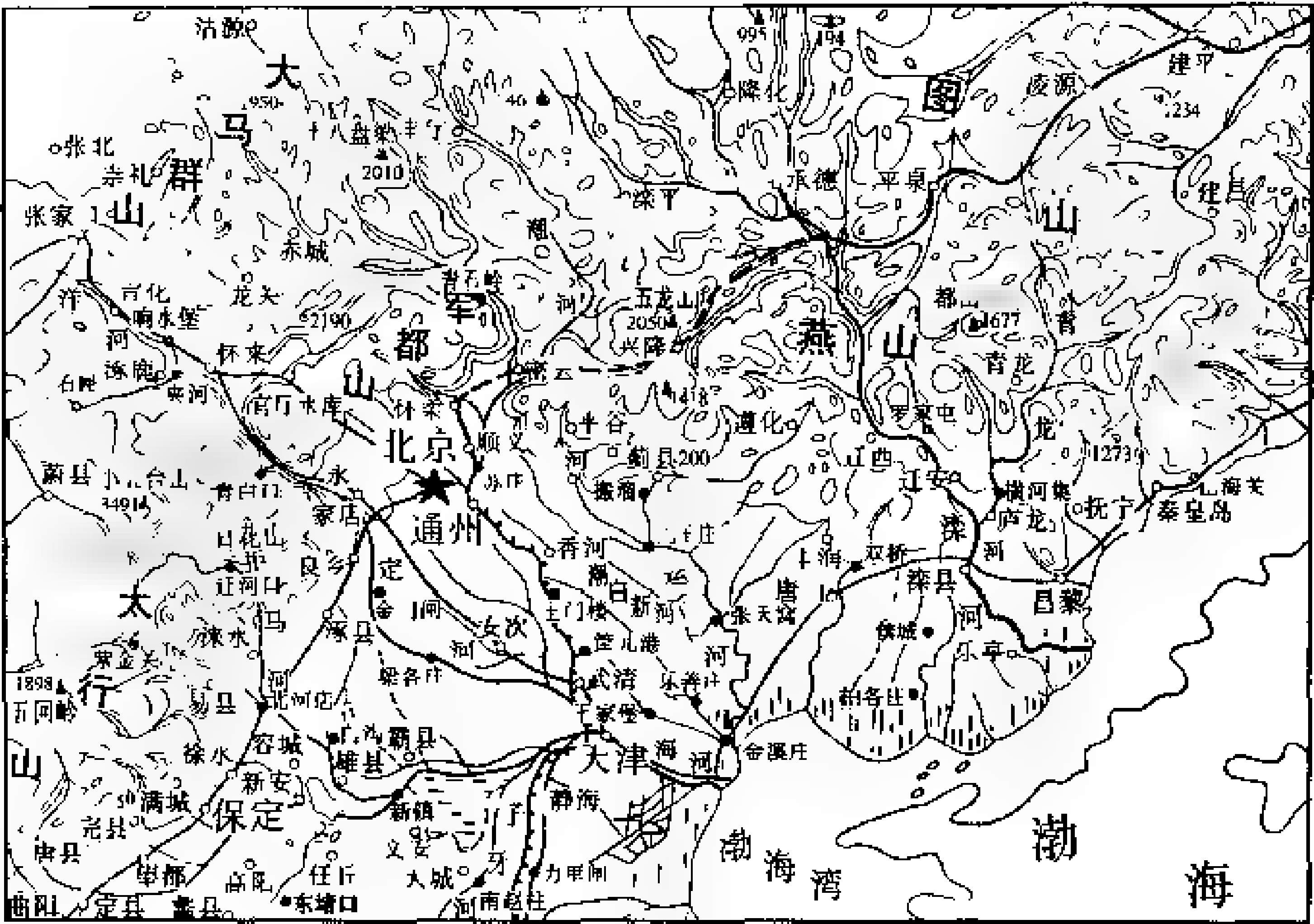
在表示方法上两者也有较大差异：教学地图符号要粗大，色彩对比性较大，以便在课堂学习时全教室里的学生都能看得清楚；行政地图则可用较小的符号，以容纳较多的地理信息。

地图的主题决定某要素在图上的重要程度，因而也影响地图概括。例如相同比例尺的水资源图和交通图，前者要详细表示水系，应尽量选取一切可能的小支流与湖泊，不放弃人工水体(水库、运河)，面积较小的水上建筑物可以用符号表示，以反映水系的工程差异，而图上选取的居民点较少，也只需表示少数的主干公路；相反，在交通图上，铁路和公路要根据运营的情况尽量表示，与道路有关的居民点(包括道路交叉点附近的居民点)应适当多选，图上水系只要表示主要的河流和湖泊即可。

同一种地理要素的选取也受地图主题的影响。以居民点为例，在地势图上不必强调表示每一个县级行政中心；在政区图上则尽量表示各级行政中心；在经



a



b

图3 12 华北地区的参考图和教学图

a 教学图 b. 参考图

济地图上只表示与经济数据有联系的居民点,而不管它的行政意义(图3 13)。

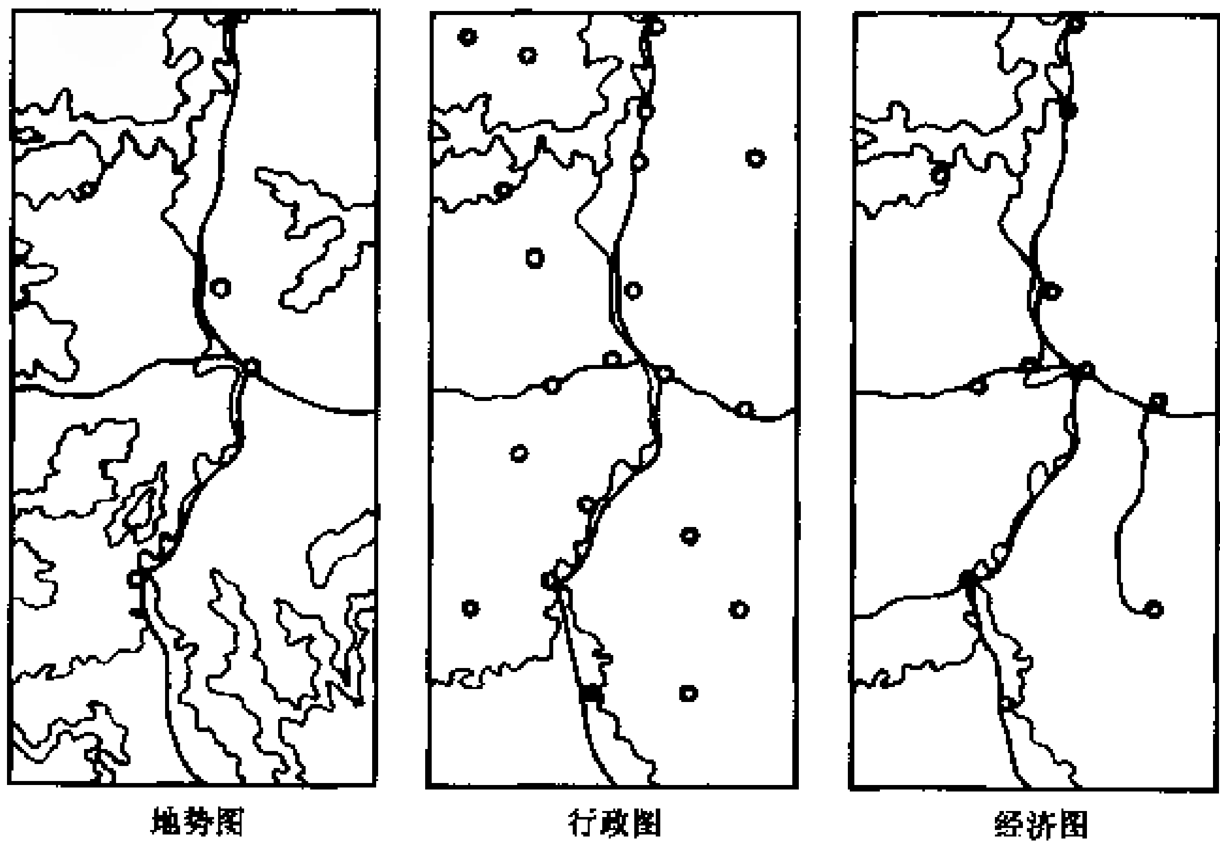


图3-13 不同用途地图上的居民点

2. 地图比例尺

地图比例尺是决定地图概括数量特征的主要因素。比例尺限定了制图区域的幅面，限制了图上能表示要素的总量，因而也决定了要素数量指标的选取。

例如，地面上 1 km^2 内所对应的图上面积随比例尺而变化，1:5 万地图有 4 cm^2，1:25 万地图有 0.25 cm^2，而 1:150 万地图只有 0.45 mm^2。显然，在各种比例尺图上要表示同样数量的地物是不可能的。开始时还能显示居民点的碎部，继而要对居民点进行形状的简化，最后由于能表示在图上的居民点面积太小，只好采用圆圈符号（图 3-14），而这个圆圈符号实际上已经超出了居民点的真实比例了。

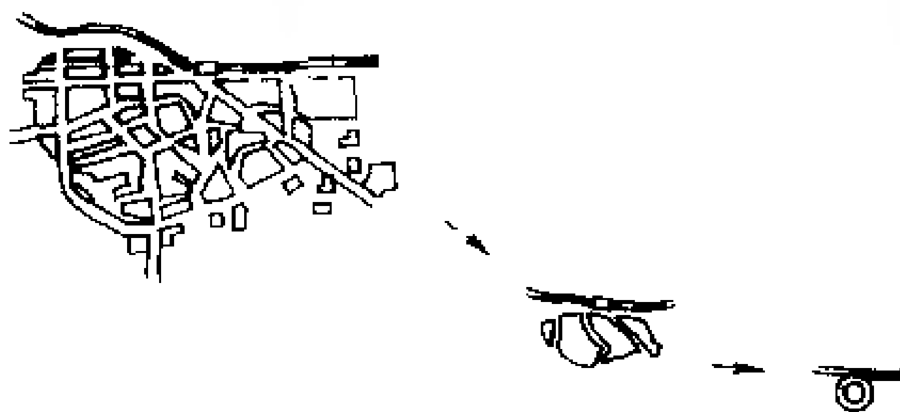


图 3-14 不同比例尺图上居民点图形的变化

地图比例尺的变更，也制约着图上地物的质量特征。例如大比例尺地图上的河流可以表示出河宽、水深、流向、流速、河床质地和能否徒涉等。但在相同区域的小比例尺地图上，大部分河段特征由于幅面太小而无法表示，只有河网结构成了地图概括后的主要内容。

3. 制图区域的地理特征

不同区域具有景观各异的地理特征。例如我国江南水网地区，水系和居民点主要由密集的河渠和分散的居民点组成，居民点多沿河岸和渠道排列（图 3-15），由于河网过密，势必影响其他要素的显示。因此在制图规范中对这些地区需要限定河网密度，一般不表示水井、涵洞。

在我国的西北干旱区，蒸发量大大超过降水量，干河床多，常流河少，季节给水的河流和井、泉附近，成为人们生活、生产的主要基地（图 3-16）。制图规范对这些地区规定必须表示全部河流、季节河和泉水出露的地点。

4. 数据质量

地图概括的过程都是以空间数据为基础的。数据的种类、特点及质量都直接影响地图概括的质量。编绘地图所用的各种图表、影像、统计数据和文字资料，均称为空间数据。这些数据有四种形式：

天文、大地、全球定位系统测量资料 包括平面控制点和高程控制点，主要表现为数字形式。



图3 15 河网地区的图形

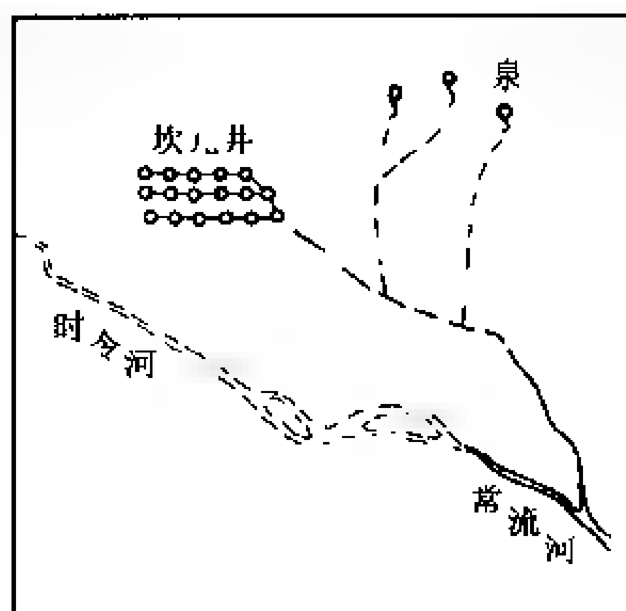


图3 16 干旱区水系的表示

遥感图像和地图资料 包括可以获得的各种实测原图、航空像片、像片镶嵌图、各类卫星图像,以及各种地形图和部门地图。

现势资料 指对上述图像和地图新近增加的行政隶属变更,地名更改,水系、道路改道,地磁数据的重新测定等文字或图表

各种专题编图资料 包括各种专题的图表资料(如地质剖面、土壤剖面)、数字资料(如气象报表、人口数字)、文字资料(如历史、地理和各专业部门的研究成果)。

制图时若资料收集完备和准确,则有利于地图概括方法的选择。例如,编制台风路径图,若资料详细、数据点密集,并掌握气象卫星云图,就能准确地编绘当年的台风发生与发展的地图。

空间数据的形式也会对地图概括的过程和方法产生影响,手工制图时,数字数据必须改变或创作成草图以后才能参与编图。而计算机制图时,地图数据需要数字化以后才能进行屏幕编辑。

5. 图解限制

地图的内容受符号的形状、尺寸、颜色和结构的直接影响,并制约着概括程度和概括方法。例如,在教学地图上表示河岸线,它是由较粗的线段描绘的,河流的细小弯曲便无法表达;而参考用图上的河流是用细线描绘的,能够把河曲的细部表示出来。用细小圆圈符号和注记表示居民点,能在单位面积内表示较多的个数,若改用大的符号和注记,就不能不舍掉较多次要居民点。可见,根据用图的目的,设计合理的符号,能提高地图的容量。

符号最小尺寸的设计受许多因素的影响:读图时眼睛观察和分辨符号的能力,特别是能绘出和印刷出符号的技术可能性;地物的意义和地理环境;视觉因素的影响等。下面列举一些实验及常用数据予以说明:根据实验数据可以知道,当视场角为6′时,可观察到绘有晕线的方块(0.5 mm),视场角为7′时可观察到空

心方块(0.6 mm),视场角为4′~5′时,可清楚地看到复杂图形的突出部(0.3~0.4 mm),如(图3-17);如采用深色单个符号表示居民点中建筑物时,可以采用符号的最小尺寸;但要用颜色普染一个小湖泊,用同样的最小尺寸就显不出湖泊的蓝色了,此时,规定图上表示湖泊的尺寸不得小于1~2 mm²;为了表示地类界内的各种土质、植被,图上最小面积需放大到25 mm²;海面上的地物较少,小的海岛在淡蓝的背景下显得很突出,即使采用单个的点子也能衬托出小岛的位置

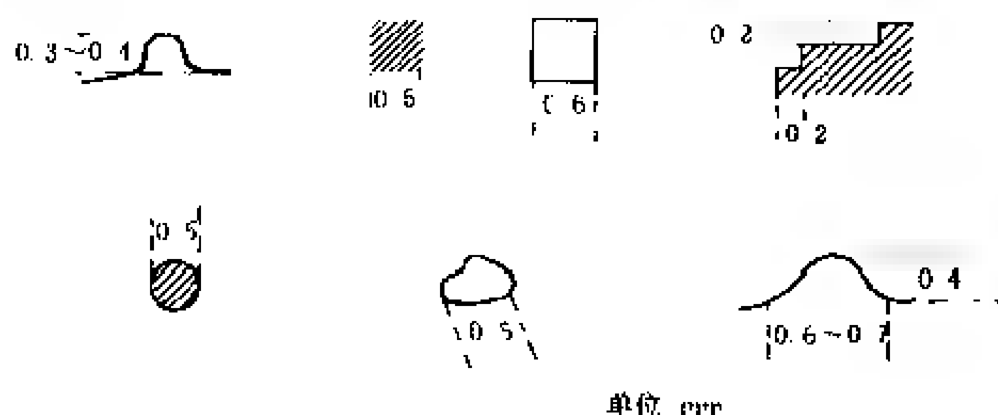


图3-17 符号的最小尺寸

§2 地图概括的数量分析方法

2.1 地图概括的数量分析方法

随着科学技术的进步,地图概括的数量分析应用了现代数学的方法,从而进一步揭示了地图概括的规律,提供了分类的数量指标,指导了制图作业。

数量分析的结果,要求所确定的模式能达到:①反映制图空间数据的类型及其区域差异;②反映空间数据与比例尺逐级变换后的数据密度相适应;③反映空间数据的精度。这里要介绍的,是在一般制图中行之有效的几种数量分析方法:图解计算法、等比数列法、区域指标法、回归分析法和开方根规律。

1. 图解计算法

这是通过前苏联苏霍夫(В.И.Сухов)的著作介绍过来的[1],是一种以地图符号的面积载负量确定符号选取数量指标的方法。这种方法一般用于确定居民点选取数额。

居民点的面积载负量 S 由两部分组成,即居民点符号的面积 r 和居民点注记的面积 p(图3-18)一般公式为:

---

1 В.И.苏霍夫.普通地图编制.北京:中国工业出版社,1964

$$S = n(r + p) \quad (3-1)$$

式中，n——每平方厘米的居民点个数；

S——无量纲。

居民点注记的面积 p 也要分析，每个字的面积为宽×高 $= d^2$，汉字地名注记平均由 3 个字组成，连同字间隔占 0.5 个字宽，则上式可表示为：

$$S = n(r + 3.5d^2) \quad (3-2)$$

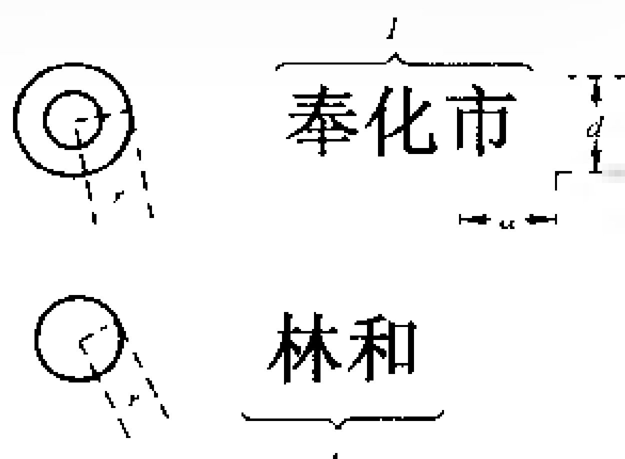


图3-18　居民点的组成

我们知道，在一张地图上，不同级别的居民点圈形符号或平面图形是大小不一的，相应的注记大小也不同。衡量一个地区内居民点面积载负量，即为每 100 mm² 内居民点所占面积(mm²)的总和，即：

$$\sum S_i/100\text{mm}^2 = (\sum r_i + \sum 3.5d_i^2)/100\ \text{mm}^2 \quad (3-3)$$

表 3-1　中国居民点所占面积在不同比例尺地图上载负量举例

平均面积 S/100 mm² ＼ 比例尺 / 地区分类	1:10万	1:20万	1:50万	1:100万
大型集团式居民点地区(东北)	50	30	16	14
中型集团式居民点地区(华北)	40	20	14	13
小型及散列式居民点地区(我国大部)	18	15	12	11

在实际应用时，地图编制者已对工作地区中不同区域居民点的面积载负量完成抽样统计。例如表 3-1，它选择了我国不同地区、四种比例尺居民点的面积载负量，作为例证供编制这些比例尺的地形图参考。

反过来，居民点面积载负量也可以用 n/100 mm² 计算，这时的 n 值(个数)应该根据不同区域居民点的载负量重新测算。

2. 等比数列法

这是苏联学者鲍罗金(A.B.Бородин)提出的用等比数列确定地图要素选取的方法[①]。

从心理物理学试验可知，觉察到(或辨认到)同一要素的等级差别常遵循等比数列的规则。

① A B Бородин Вопроси генерализации картографического изображения при автоматическом создании карт "ГиК",1976 7

以河流为例应用等比数列法选取支流时，将河流的长短用等比数列分级，表示为 A_i，而河流间的平均距离也用等比数列分级，表示为 B_i，能够入选的河流最小间隔用二维的等比数列 C_{ij} 表示，模式如表 3－2。

表 3－2 等比数列的模式

长短分级 \ 选取间隔 \ 距离分级	$B_1\sim B_2$	$B_2\sim B_3$	…	$B_{n-2}\sim B_{n-1}$	$B_{n-1}\sim B_n$
$>A_n$	C_{11}				
$A_{n-1}\sim A_n$	C_{21}	C_{22}			
…	…	…	…		
$A_2\sim A_3$	$C_{n-1,1}$	$C_{n-1,2}$		$C_{n-1,n-1}$	
$A_1\sim A_2$	C_{n1}	C_{n2}		$C_{n,n-1}$	C_{nn}

表中：① 选取间隔的对角线（$C_{11},\cdots,C_{nn}$）为全取线，若在此线外侧的河流全部选取；距离小于左列（$B_1\sim B_2$）及长度短于下行（$A_1\sim A_2$）的地物全部舍弃

② 从 $A_1,A_2,\cdots$ 到 A_n 或从 $B_1,B_2,\cdots$ 到 B_n，数值间应符合等比关系，即：

$$A_i = A_1\cdot r^{i-1}$$
$$B_i = B_1\cdot p^{i-1} \qquad (3-4)$$

式中 r,p 为辨认系数，是一种经验数据，可令 $r=1.3$ 及 $p=1.5$。

③ 在选取间隔中，$C_{11},C_{22},\cdots,C_{nn}$ 是河流应保持的最小间隔。可令

$$C_{11}=\frac{1}{2}(B_1+B_2)$$

第 1 列的 $C_{21},C_{31},\cdots,C_{n1}$ 等比数列，代表同级平均距离的河流，当河长不同时获得选取的最小间隔，其计算公式为：

$$C_{i1}=C_{11}+\frac{C_{22}-C_{11}}{1+p}\cdot\frac{1-r^{i-1}}{1-p} \qquad (3-5)$$

在选取第 2 列的 C_{i2} 的值时，公式改变为：

$$C_{i2}=C_{22}+\frac{C_{33}-C_{22}}{1+p}\cdot\frac{1-r^{i-2}}{1-p} \qquad (3-6)$$

以后每行依此类推。

例：选取某一流域的支流，原图上长于 15 cm 的应全取，短于 4 cm 的应全舍，在这个范围内若河流的平均距离小于 1.5 cm 的也应舍弃。由等比数列法构成的表 3－3 提供了选取答案。

表 3-3 按等比数列法的河流选取实例(单位:cm)

选取间隔 \ 距离分级 / 长度分级	1.5~2.3	2.3~3.4	3.4~5.1	5.1~7.6	7.6~11.4	11.4~17.3
>14.8	1.9					
11.4~14.8	2.3	2.9				
8.8~11.4	2.9	3.5	4.3			
6.8~8.8	3.8	4.3	5.1	6.3		
5.2~6.8	5.2	5.6	6.3	7.6	9.5	
4~5.2	7.2	7.5	8.1	9.5	11.4	14.3

表3-3说明,处在河长4~14.8 cm间的支流,应先选取较长的支流,并根据它们的平均距离决定取舍。例如,某一支流长8 cm,它两侧的河流平均距离为4 cm,在新编地图上,决定它是否入选的选取间隔为5.1 cm。所以,当选取完比它更长的支流后,到选择8 cm长的河流时,两侧间隔大于5.1 cm的这一段支流才能被选取,两侧间隔小于5.1 cm,则应舍弃这段8 cm的支流。

等比数列法很容易被引入计算机制图作业中。

3. 区域指标法

小比例尺地图概括的过程,一般包含两方面的工作:一是搜集与编辑空间数据,主要是原始地图的镶嵌和按成图比例尺缩小。二是搜集制图区域内的地理资料进行研究,配合大比例尺遥感图像的判读和量测,确定应该描绘的要素是什么类型、什么特征和数量指标,将其编列成图表和说明,就成区域指标图。进行这两项准备工作之后,就可以在指标图的规定下,对原图进行简化和夸张作业。

例如对我国海岸类型进行分析后,作者提出的海岸选取指标图说明,如表3-4和图3-19。它既定性描述了海岸的特征,同时提供了描绘岸线的量化数据——曲率。

表 3-4 海岸类型示例

类型	典型段举例	形态特征	曲率
华北型岩港海岸	际化石岛至胶南	岩港与岸滩交错	2.46~4.82
华南型复杂港湾海岸	杭州湾至厦门	海岸曲折,复式港湾	3.45~8.54
冲积平原海岸	江苏沿海	岸线平直,岸低平	1.09~1.57
弧形三角洲海岸	黄河三角洲	沿岸弧状外凸	1.27~1.28
断层海岸	台湾东部	岸线挺直且高峻	1.1[illegible]~1.37

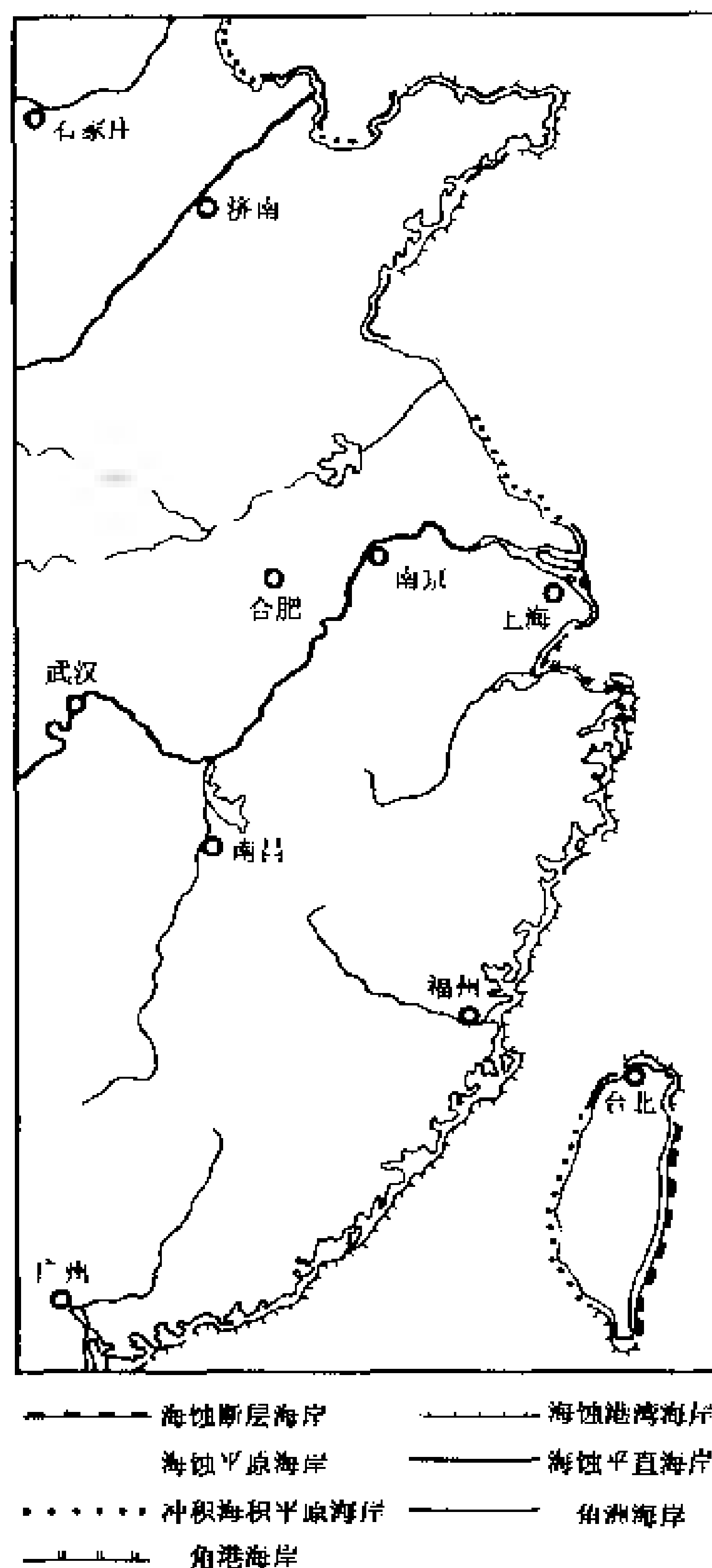


图3-19 选取指标图

陈述彭等为我国进行1:100万～1:400万小比例尺制图时,提供了各种地理要素的区域指标图①,以指导编图实践中能正确地表现出区域的最显著特征,反映出区域之间的对比关系。

研究和分析区域指标法包含着景观综合体和各个要素间的统一,地图符号地理真实性和几何精确性之间的统一,各要素的性质和取舍数量之间的统一,繁琐的资料和简要的选取轮廓之间的统一。这种地图概括的方法只有在专家系统支持下才能进入自动制图阶段。

① 见参考文献4,第198～223页

4. 回归分析法

地图概括可以采用相关分析与回归分析方法建立地物数量的选取指标。地图上居民点的选取程度,同实地居民点密度之间存在着相关关系。总参测绘研究所1978年发表了我国居民点密度和选取指标研究报告,采取相关性检验和回归曲线分析的方法,系统总结了我国1:10万、1:20万地形图居民点的选取指标问题。

相关系数r的公式为:

$$r=\frac{\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2\sum(y_i-\bar{y})^2}} \tag{3-7a}$$

式中,x_i——居民点实地密度;$\bar{x}$——居民点平均密度

y_i——图上选取数;　$\bar{y}$——选取的平均数。

回归方程的公式为:

$$y=ax^b \tag{3-7b}$$

式中,a、b为待定系数。

经过全国抽样计算所得,1:10万、1:20万地形图上居民地选取的回归曲线如图3-20,图3-21所示。

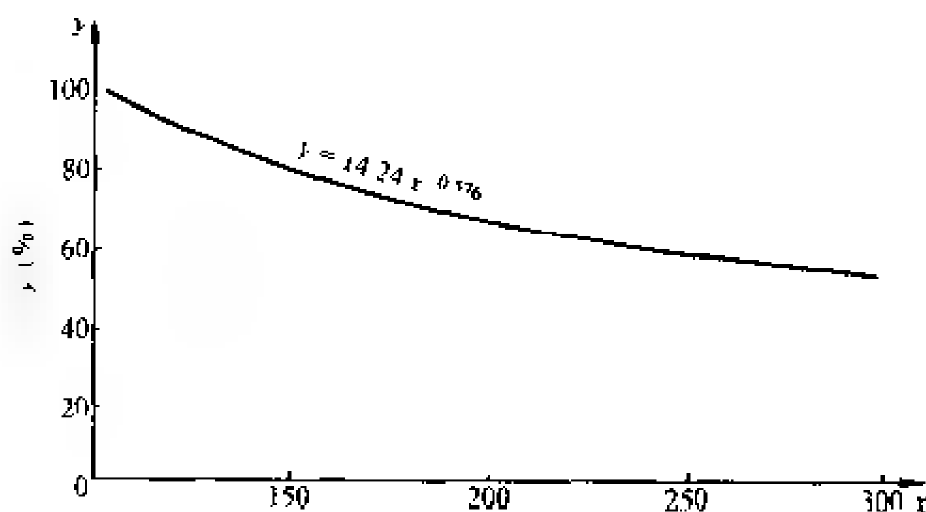


图3-20　1:10万地形图居民点选取曲线

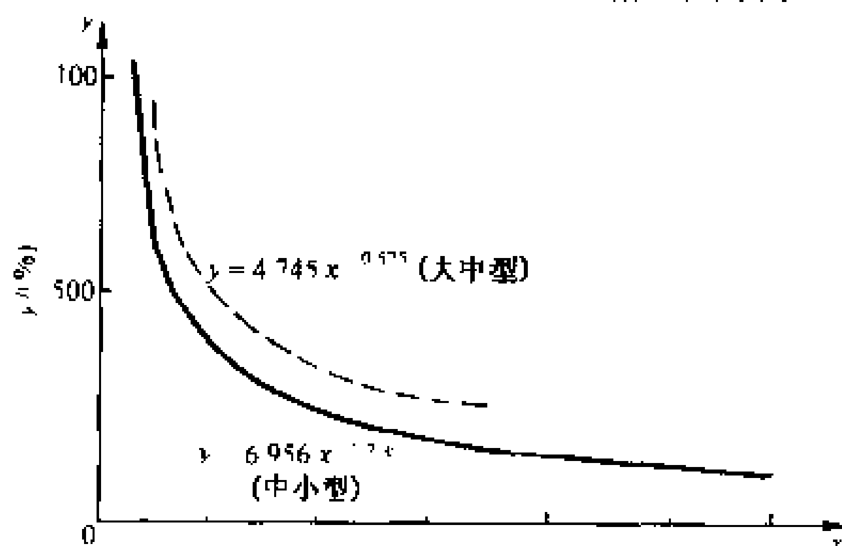


图3-21　1:20万地形图居民点选取曲线

表 3-5 便是从图 3-20 简化后得到的全国 1:10 万地形图居民点的选取指标表。

表 3-5 1:10 万地形图居民点选取指标

占全国总面积(%)		实地密度/(个·100 km⁻²)	选取程度/%	选取指标/(个·100 km⁻²)
一般区	88.6	< 110	> 95	< 105
稠密区	8.5	111 ~ 125	95 ~ 89	105 ~ 111
		126 ~ 140	89 ~ 83	111 ~ 116
		141 ~ 155	83 ~ 78	116 ~ 121
		156 ~ 170	78 ~ 74	121 ~ 126
		171 ~ 185	74 ~ 70	126 ~ 130
		186 ~ 200	70 ~ 67	130 ~ 135
最密区	2.9	201 ~ 225	67 ~ 63	135 ~ 142
		226 ~ 250	63 ~ 59	142 ~ 148
		251 ~ 275	59 ~ 56	148 ~ 154
		276 ~ 300	56 ~ 53	154 ~ 160
		> 300	< 53	> 160

区域指标法和回归分析法的成果，都为编图者提供了一份简明的区域指标图，用于地图某一种要素的选取(图 3-22)。

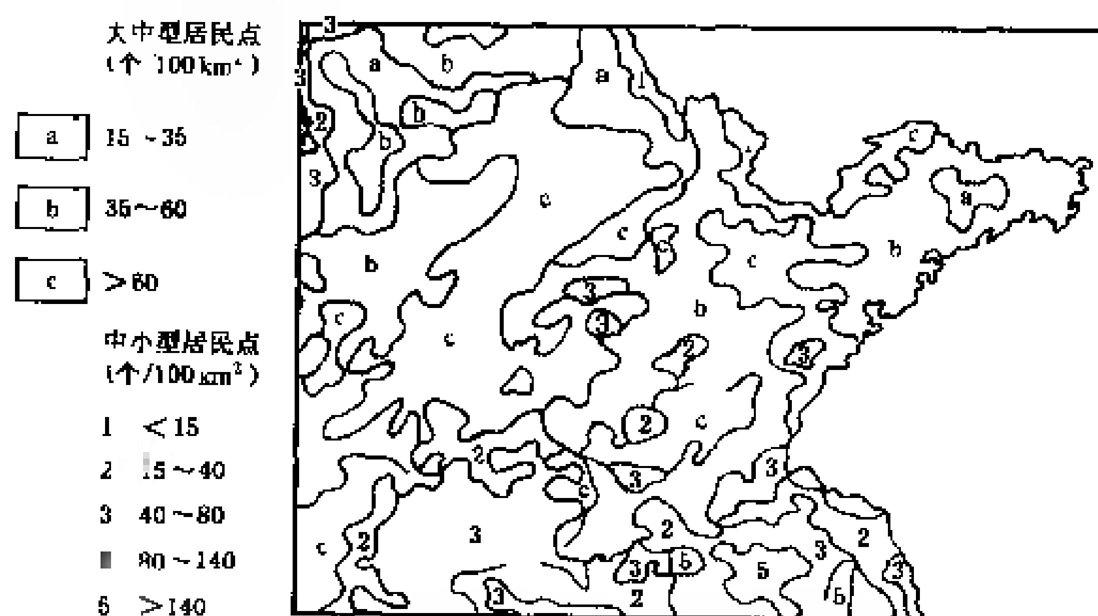


图 3-22 居民点选取指标图(局部)

2.2 开方根规律的应用

德国特普费尔（F. Töpfer）提出一种地图概括的方案，用于解决原始地图与新编地图由于比例尺的变换而产生的地物数量递减问题。他认为：原始地图与新编地图两种比例尺分母之比的开方根，便是新编地图所应选取的地物数量，即：

$$N_B = N_A \sqrt{M_A/M_B} \qquad (3-8)$$

式中，N_B——新编地图地物数；

N_A——原始地图地物数；

M_B——新编地图比例尺分母；

M_A——原始地图比例尺分母。

例如，由一张1:5万地形图编绘成一张1:10万地形图，在相应的范围内，原始地图有居民点78个，则新编地图上的居民点 N_B 应为：

$$N_B = 78\sqrt{50\,000/100\,000} = 78 \times 0.71 = 55(\text{个})$$

但是，选取地物的多少，除了与比例尺有关外，还要受到多种因素的影响，例如地物的重要程度不同，各种用途的地图符号尺寸不同等。

因此，特普费尔又在基本公式上增加了符号尺寸改正系数 C 和地物重要性改正系数 D，将公式扩展为：

$$N_B = N_A \cdot C \cdot D \sqrt{M_A/M_B} \qquad (3-9)$$

对于符号改正系数 C，可能出现三种情况：

(1) 符号尺寸符合开方根规律，即指符号尺寸随比例尺缩小，则有 $C=1$，(3-9)式可改写为：

$$N_B = N_A \cdot D \sqrt{M_A/M_B}$$

(2) 符号尺寸不符合开方根规律，但新编地图与原始地图的符号（注记）尺寸相同。例如1:5万和1:10万地形图上的注记大小、线划宽窄没有变化。

对线状符号，则有

$$C_2 = \sqrt{M_A/M_B}$$

$$N_B = N_A \cdot D \sqrt{(M_A/M_B)^2}$$

对面状符号，则有

$$C_3 = \sqrt{(M_A/M_B)^2}$$

$$N_B = N_A \cdot D \sqrt{(M_A/M_B)^3}$$

(3) 符号尺寸不符合开方根规律，尺寸也不同，例如参考图和教学图，注记

和符号尺寸差异很大。于是有：

1. 原始地图线状符号尺寸宽为 S_A，新编地图设计线状符号尺寸宽为 S_B。

则有 $C_2=\frac{S_A}{S_B}\cdot\sqrt{M_A/M_B}$， $N_B=N_A\cdot D\cdot\frac{S_A}{S_B}\cdot\sqrt{(M_A/M_B)^2}$；

2. 原始地图的面状符号尺寸面积为 f_A，而新编地图设计面状符号尺寸面积为 f_B。

则有 $C_3=\frac{f_A}{f_B}\cdot\sqrt{(M_A/M_B^2)}$， $N_B=N_A\cdot D\cdot\frac{f_A}{f_B}\cdot\sqrt{(M_A/M_B)^3}$

对于地物重要性改正系数 D，也可能出现三种情况：

(1) 很重要，则

$$D_1=\sqrt{M_B/M_A}$$

(2) 一般，则 $D_2=1$

(3) 次要，则 $D_3=\sqrt{M_A/M_B}$

因为地物重要性改正系数是以比例尺分母的开方根形式表示的，符号尺寸改正系数也可以部分地转换为比例尺分母的开方根形式。因此，扩展公式的各种情况可以简化为：

$$\left.\begin{aligned}N_B&=N_A\sqrt{(M_A/M_B)^x}\\N_B&=N_A\cdot\frac{S_A}{S_B}\cdot\sqrt{(M_A/M_B)^x}\\N_B&=N_A\cdot\frac{f_A}{f_B}\cdot\sqrt{(M_A/M_B)^x}\end{aligned}\right\}\qquad(3-10)$$

式中，x——选取级，可设为0,1,2,3，以对应上列(3－9)式的各种改正系数。

开方根规律的公式并不复杂，它具有如下的特点：

(1) 公式直观地显示了地图概括时从重要到一般的选取标准，是一个有序的选取等级系统。

(2) 公式是线性方程，在地图比例尺固定的条件下，地物选取的比例一致

(3) 公式的缺憾是没有考虑地理差异，特别是制图地物分布的密度变化。

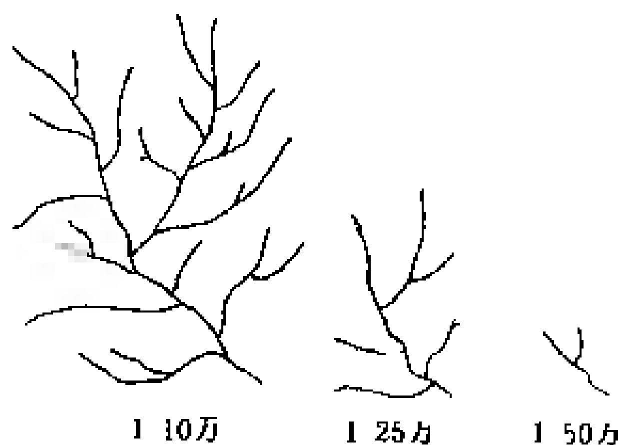


图3－23 河流的选取

(4) 公式的选取级 x 的确定不是很严格的，也因此协调了(3)的缺憾

图3－23是从已出版的1:10万地形图和依次编绘成1:25万和1:50万地形图的河流，它们的选取指标是按规范确定的，河流系数如表3－6所示。其中有

括号的数字则是按式3－10计算的。从表中可以看出，地形图的选取结果与开方根规律基本相符。

表3－6 河流选取指标

河流条数 比例尺 / 指标	1:10万→1:25万 $x=2$	1:25万→1:50万 $x=3$
N_A	59	25
N_B	25(24)	11(9)

§3 地图概括的基本方法

3.1 分类

空间数据反映在地图上都是以符号表示，但不同的数据不可能都赋予不同的符号，只能用同一种符号表示相近类别的数据，这就要对空间数据进行分类、分级，因而是一个聚类或分群的过程。

1. 层次归类

生物学将世界上的动、植物归类时，分为门→纲→目→科→属→种。其他一些学科也有自己的分类体系。地图上的归类可分为两种情况，对于普通地图，制图部门独立地制定图例、图式，使普通地理要素按不同的比例尺纳入规范要求；对于专题地图，遵从该专题的学科分类。在比例尺变换时，专题作者总要和编图者商讨在地图上表示专题分类的详细程度。

如图3－24，1971年版1:10万地形图上有详细的水系分类。当比例尺变换至1:25万时，这个分类仅保留了河流、运河、常年湖、水库，其他都在分类上消失。

2. 数量分级

例如编制一张以县为单位的人口分布图，每个县都有自己的实际数据。一个省几十个县，人口数各异，数据不分级便不能形成人口分布的概念。图3－25是将该省的人口数分成7级表示的图例。分级愈多，地图概括的程度愈小。

3. 等级合并

经过层次归类的空间数据，具有明确的先后层次顺序，随着比例尺的缩小，按数据的质量和数量特征来合并等级，减少级数扩大级差。

地图概括的类别合并，并不是类别删除，而是将其中的几种类别合并组成新的一类。如图3－26所示，经过聚类以后的数据点，若每5个点形成一个分群，

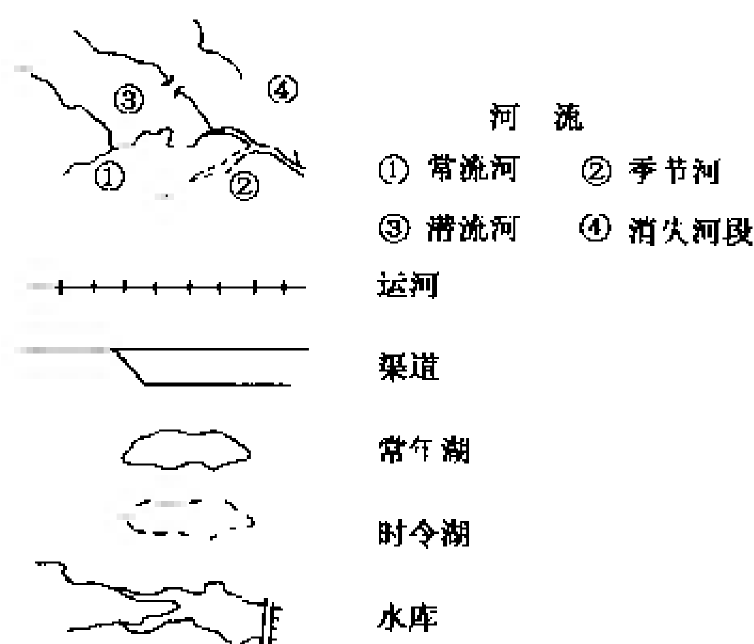
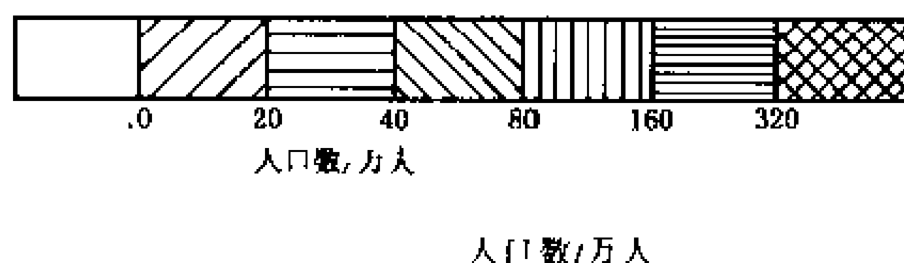


图3 24 水系的分类



人口数/万人

图3-25 按7级分层的图例

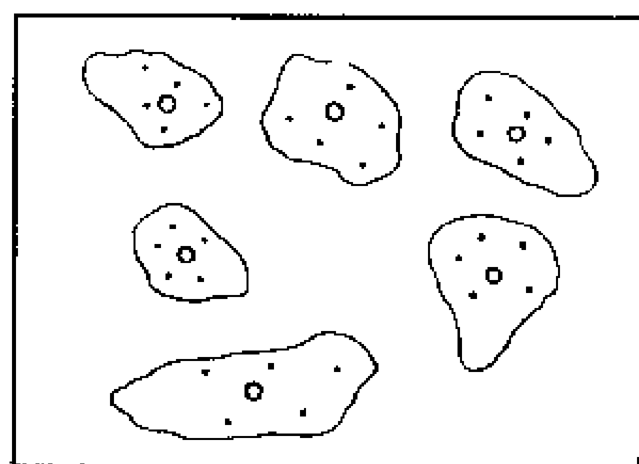


图3-26 地图分类的分群

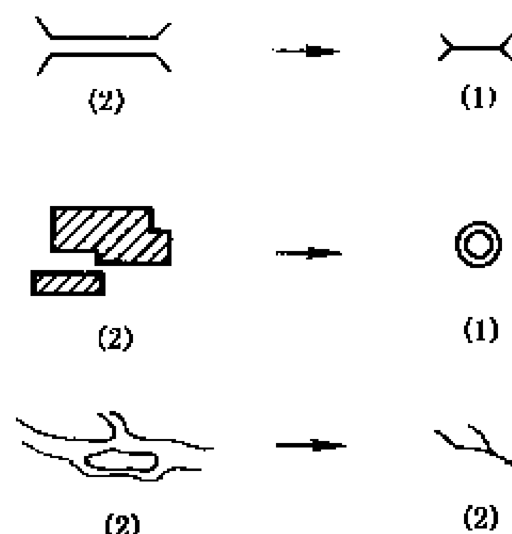


图3 27 符号的降维

地图概括后,每群只保留一个点,分类的等级合并方法是在它的适中位置(如重心)选择一个新点代替这个分群。

4. 降维转换

点状符号是一种1维的数据,线状符号和面状符号是一种2维的数据,比例尺缩小或同级比例尺的制图目的不同时,运用符号表示数据的图形产生维量的变化,称图形等级转换,它对地图的载负量影响很大。

如图3-27,居民点从一个平面图形(2维)转换为圆圈符号(1维),河流从双线的线状符号,变更为单线(同是2维),实测的桥梁(2维)转换为桥梁符号(1

维),都是降维的结果

5. 分区选取

是一种不等精度的选取方法。由于地理位置的差异,在同一图幅范围内进行定额选取时要采用不同的分类标准。例如:选择开方根规律时,一些区域的选取定额的 x-1(重要),一些区域的选取定额的 x-2(次要)。

既然考虑不等精度的选取是依地理差异而定,因此为选取不同定额的分区并不是一个规则的形状,如图3-28所示。a区是以集镇式居民点为主,b区是以散列式居民点为主,划分两个区域采用了自然界线。首先计算各自的面积和居民点数,然后依缩小比例尺系数和规定的定额进行居民点数额计算,再进行符号化。

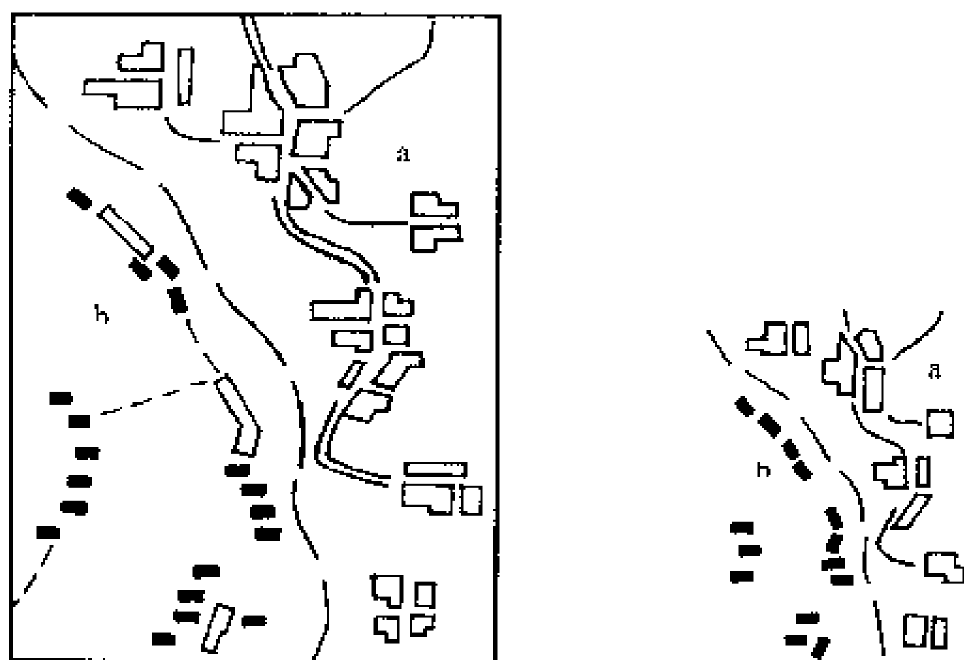


图3-28 居民点的分区选取

3.2 简　化

从空间数据或原始地图编制新的地图,必定经过多次的数据筛选才能完成新图的创作。简化是继分类之后,地图概括的又一个工作过程,但是它们两者之间有明显的区别。如果图3-26说明分类的本质,那么图3-29便说明简化的本质。简化技术是在图形分群以后,被分群的5个点中,只取原有点中的一个点被指定代表这个分群的所有点,成为新图的"成员"。所以删除也就是选取。从这个意义上可以将简化分为删除和图形化简。

1. 删除的最小尺寸

编图时决定空间数据取与舍的数量标准,是地物在图上的最小尺寸。虽然新的地图还未形成,但是删除的最小尺寸是按照成图比例尺的缩小原图进行量度的。例如选取地物的分界尺度为:成图上河长短于10 mm,而且相邻平行河流

之间距离小于 2 mm 时，这段河流应删除；湖泊的面积在 1 mm² 以下应删除；岛屿的面积在 0.5 mm² 以下应删除等等。

有时，空间数据是否删除是有条件的，上一节介绍用等比数列法检验河长时就指出：当河流的长度为 5 cm，而两侧河流的间隔大于 5 mm 时，河流不予删除。这就是在删除过程中最小尺寸界限的灵活处理。

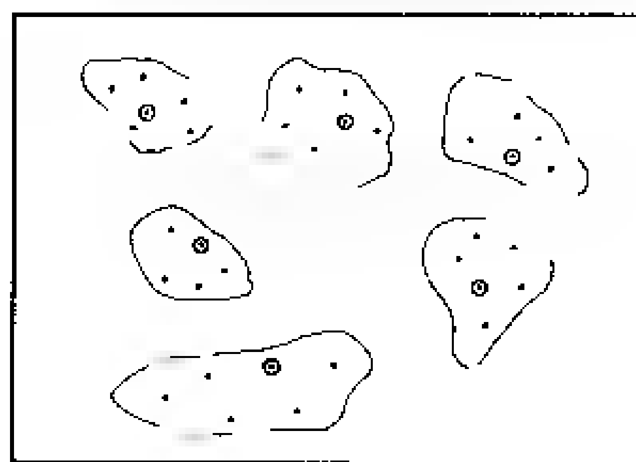


图 3-29 地图简化的选取

2. 删除的指标定额

定额指标是按成图上单位面积的选取个数确定的。定额指标产生于地图规范或根据开方根规律的计算。例如，1:50 万地形图中规定稠密地区居民点的选取定额为 130～160 个/100 cm²，稀疏地区居民点的选取定额为 70～100 个/100 cm²，该数字本身已给予选取定额一个幅度，当稠密区超出 160 个或稀疏区超出 100 个时，应将多余的居民点删除。这种点的删除也适用于湖泊群或岛屿群。

图 3-30 是一种面积的删除，适用于森林、草地等单要素的专题制图。a 图表示森林的图斑数为 61 个，b 图的比例尺是 a 图的 1/2，按开方根规律（式 3-10），取 f_A 与 f_B 之比为 1:2，b 图的森林图斑数应为 22 个（$N_b = 61 \times \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}$）

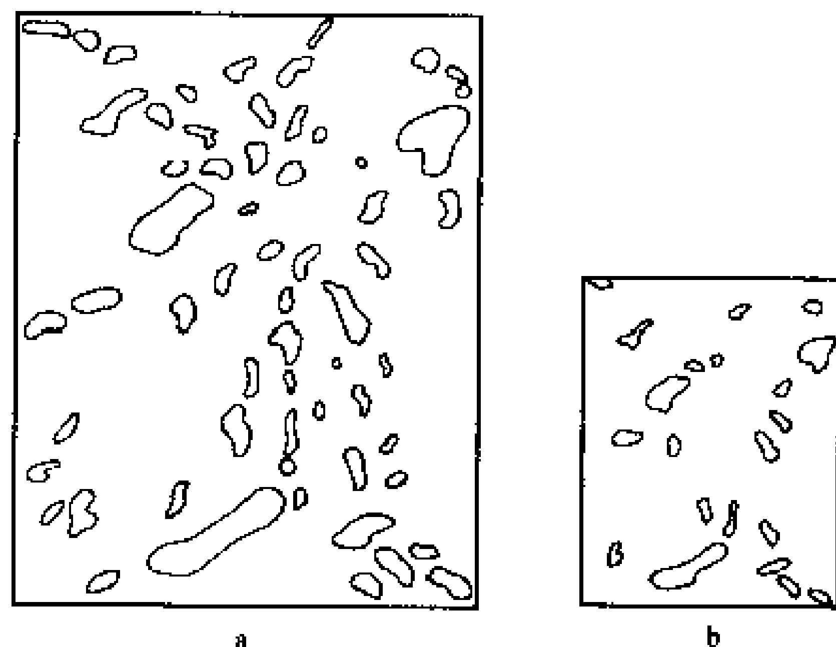


图 3-30 面积符号的删除

3. 删除的资格排队

所谓资格排队就是按空间数据的等级高低进行选取。划分数据的等级高低有时是一个复杂问题。我们在选择水系时，它自然形成了主流、支流、二级支流、三级支流，如果不考虑河流的长度，根据比例尺缩小的情况，会从三级支流起，先删去三级支流，进而删去二级支流。如果二级支流不能全删，会保留长一点的

级支流以满足指标的需要。

对于居民点选取，一般均采取资格排队。例如，某区域的地图需要选取50个居民点，根据重要性首先将省会、县政府所在地、主要城镇选入，共占38个，余下的12个居民点，则要在图上其余的居民点中选取。按资格排队也就是按重要性排队。它们应是：①位居水陆交通要道，②经济上做出贡献，③历史、革命、文化胜地（如周口店、韶山、十三陵），④地理上的要冲（如山垭口、分水岭位置上的乡村），⑤照顾地理分布等。

4 形状的简化

图形形状简化的基本要求是：①保持轮廓图形和弯曲形状的基本特征；②保持弯曲转折点的相对精确性；③保持不同地段弯曲程度的对比。

任何线状地物或面状地物，其轮廓都是点的连续，而这些点所构成的曲线中，只有能反映曲线弯曲形状特征的点才是特征转折点（数学上称反曲点），是构成图形的支柱。只有保持这些转折点才能保持线状和面状地物的形状相似性。

保证图形形状简化后相似性的具体方法有：

(1) 按最小尺寸限定弯曲的取舍 一个弯曲会有一个宽度 w 和一个深度 d 的规定（图3-31），若编稿图上地物轮廓的宽度、深度分别为 w_i、d_i，则有如下的情况：

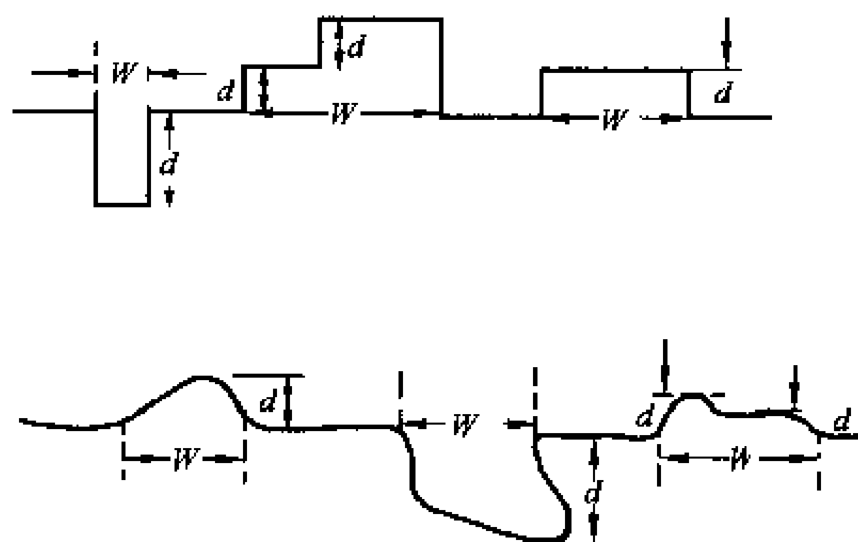


图3-31 曲线的弯度

当 $w_i \geq w$，$d_i > d$ 时，一般应选取；

当 $w_i \geq w$、$d_i < d$ 时，或 $w_i < w$，$d_i > d$ 时，则要考虑弯曲的形状特征，需删除弯曲或通过夸张使弯曲大于限定尺寸。

当 $w_i < w$、$d_i < d$ 时，一般应删除。

(2) 按开方根规律简化形状 一条河流或一个居民点的平面图形，可以对它的弯曲数或转折角数进行开方根计算，然后在新编地图上简化图形（图3-32）。

但是，一条河流或等高线图形会在不同的地段有不同的弯曲数，这是地理环

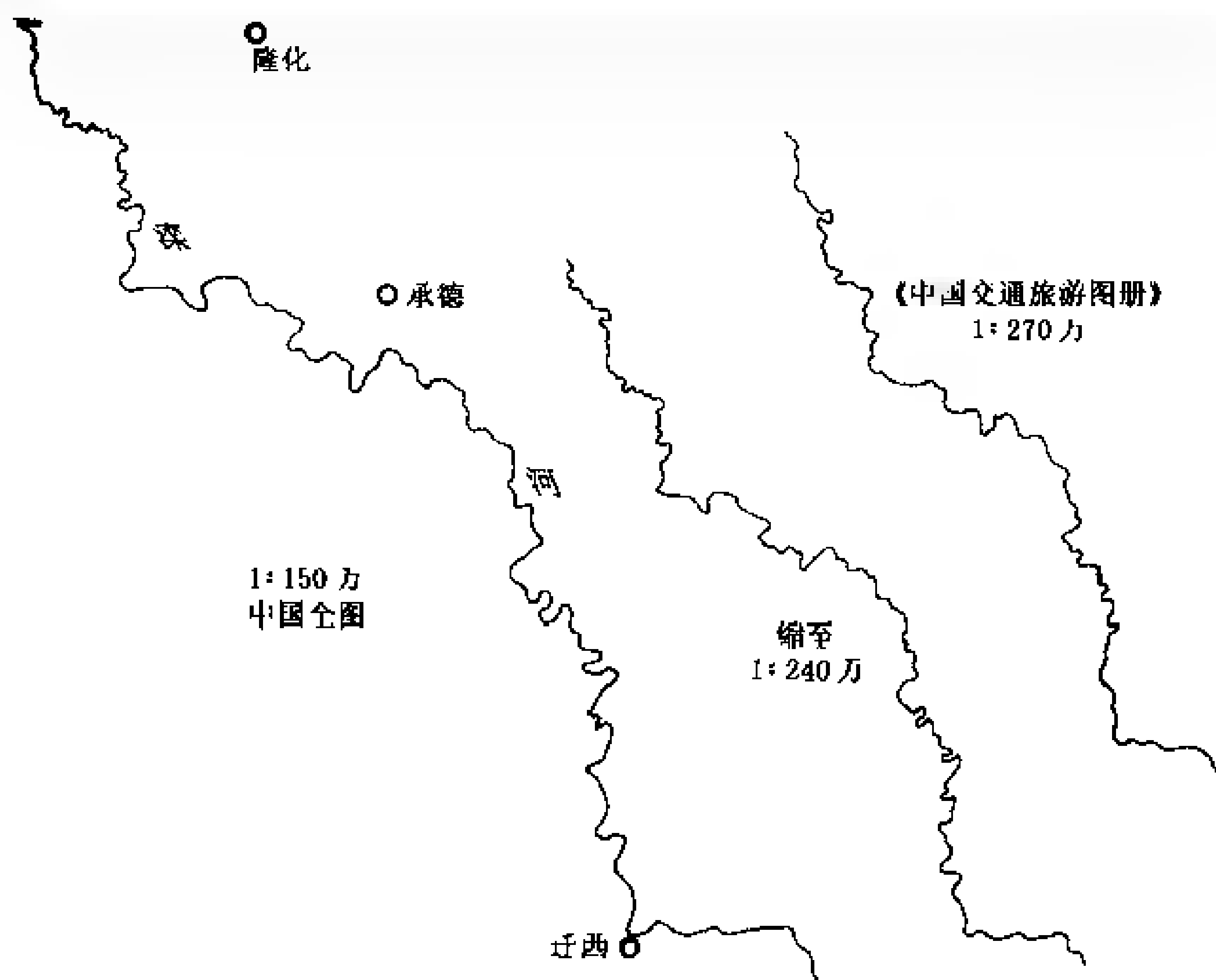


图3-32 河流按开方根规律的简化

境决定的，我们应用开方根规律选取弯曲数时，应该将不同的弯曲区分为几个段，分别选择3-10式中x系数进行弯曲取舍，以保证简化后河流的地理特征。

图3-33列举了河网、等高线的几种简化图形。

5. 内部结构的简化

空间数据构成了平面图形，在简化过程中应保持一定的格局。例如在城市平面图形中，主次街道的分布与联系、街区的结构与排列方向、市政区、文化区、商业区的布置，都形成一个城市的特色，当比例尺缩小时，必然要造成街道合并及道路网减少。因此要考虑城市的功能分区、城市街区的方向、街道的密度对比、对外的交通联系等进行平面图形的概括。

图3-34反映了保持街区特征的城市平面图的简化过程。

3.3 夸 张

本章在介绍地图概括的方法时就已经指出，夸张并不是没有章法的夸大，没有夸张就不成为地图符号。例如小比例尺地图上的一个湖群地区，在比例尺缩小以后，不对一些主要的湖泊适量放大，就显示不出这个湖区的地理特征。这张新编地图可能不适于量测，然而它反映了区域的地理面貌。地图概括时夸张的

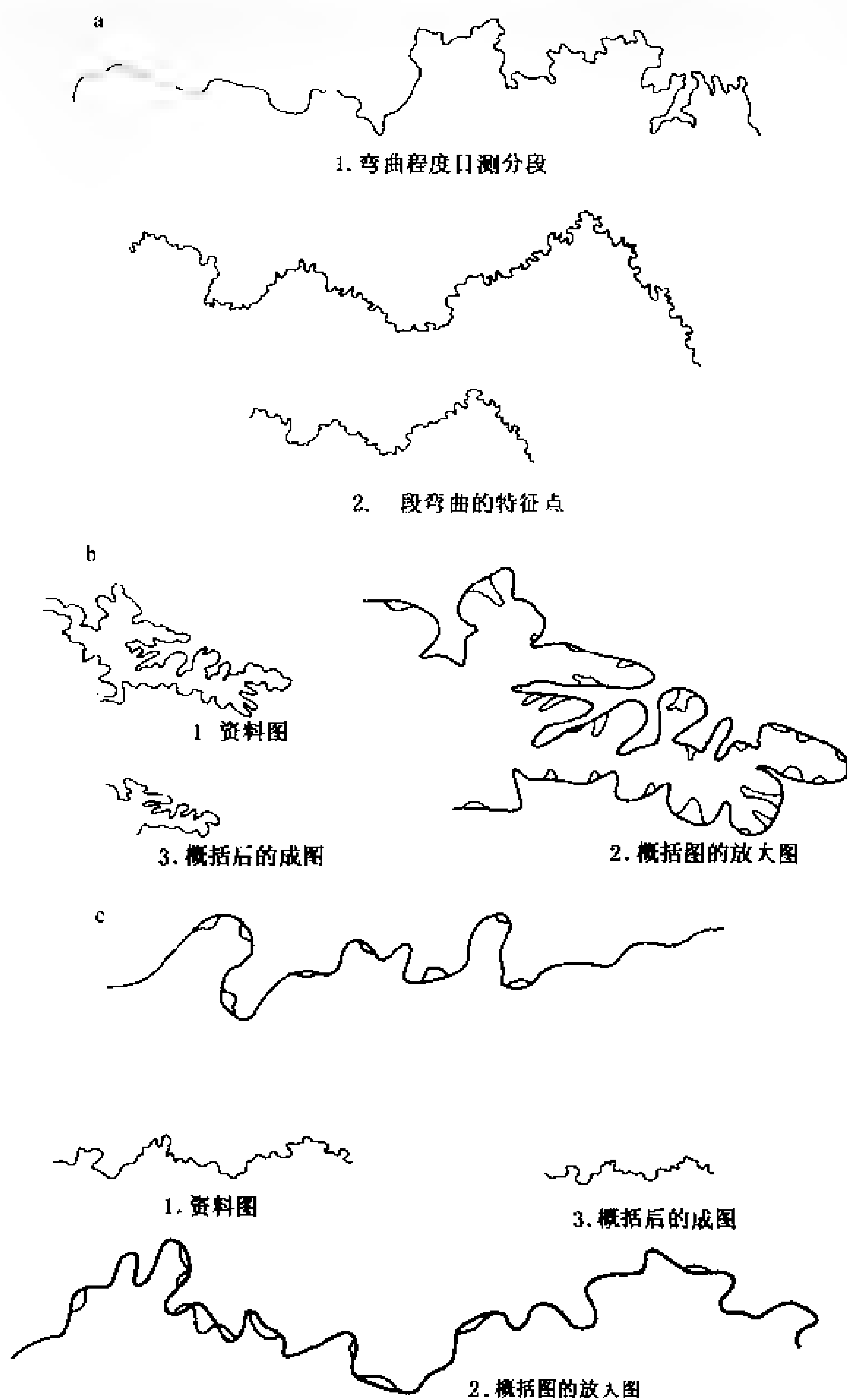


图 3-33 简化的图形

方法包括不依比例尺的放大、移位等。

1. 局部夸大

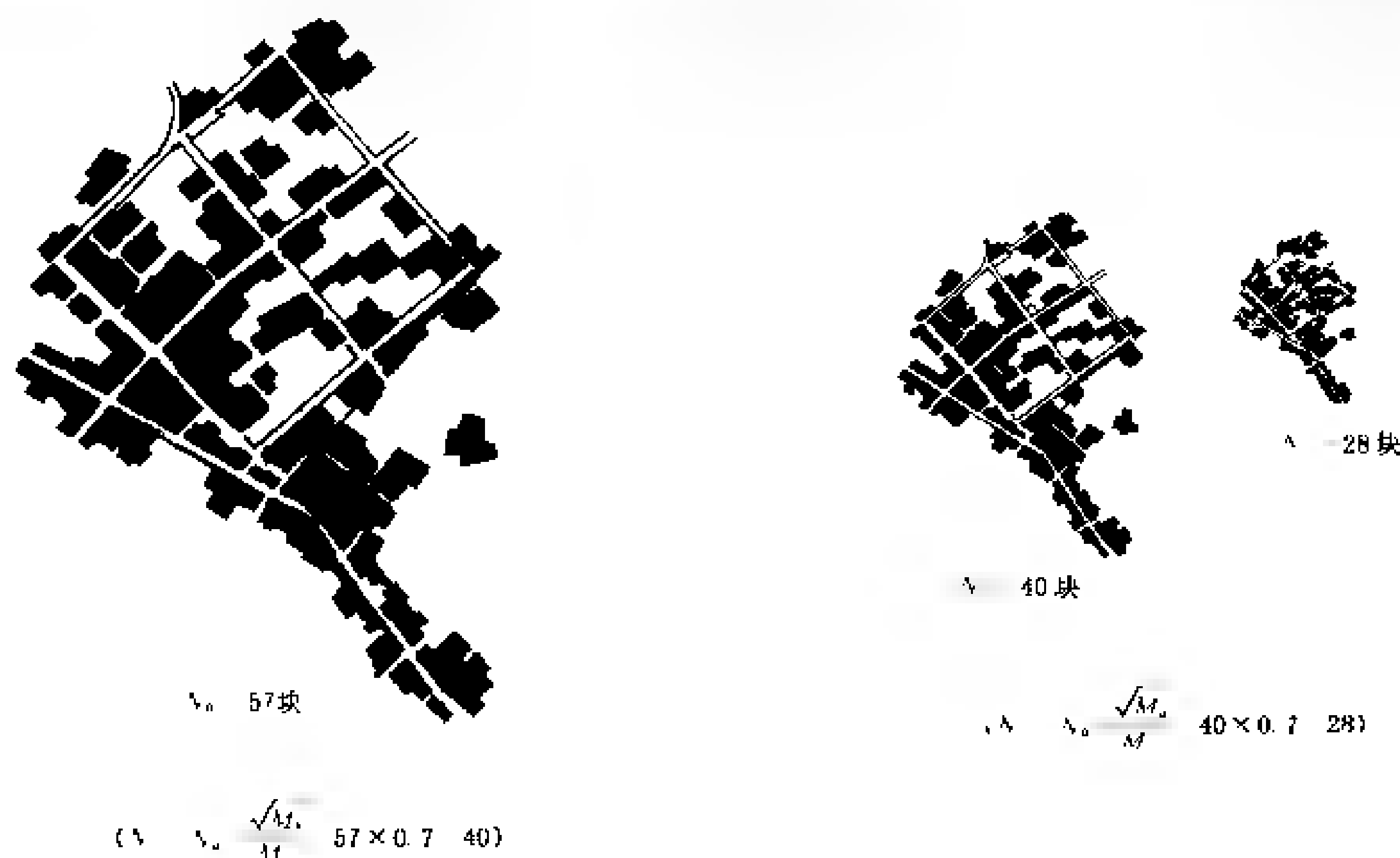


图3-34 居民点平面图形的化简

一些有许多微小弯曲的河流，如果按比例尺机械地化简，这些弯曲将被全部删除，多弯曲河流将变成笔直的河段，反而歪曲了河流的特征，因此，必须对一些弯曲进行局部夸大(图3-35)。其他地理要素概括时也会出现类似的情况。

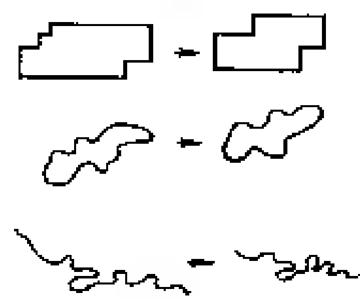


图3-35 轮廓图形的局部夸大

2. 位移

为保持地图上各要素相互关系的正确对比，当主要的要素占领了准确的位置以后，相邻位置的要素不得不局部位移，这是因为每一种地图符号都有一定的尺寸(宽度)，而符号与符号之间又应该保持不小于0.2 mm的距离。

一个典型的例子就是粤北坪石金鸡岭路段(图3-36)：南面是武水，中间是京广铁路，北面是金鸡岭。在小比例尺地图上，武水位移量最小，而坪石、金鸡岭已经移到东边去了。

3. 合并

合并同类地物的碎部，以反映地物主要的结构特征。应该说合并和删除是相辅相成的，删除等高线所表示的谷地，就等于两边山脊的合并(图3-37)；城市街道的删除就造成街区的合并；比例尺缩小以后，也造成森林的互相合并。

4. 分割

这种方法主要存在于不太重要的面状图形的拆分。例如林间的防火道和鱼

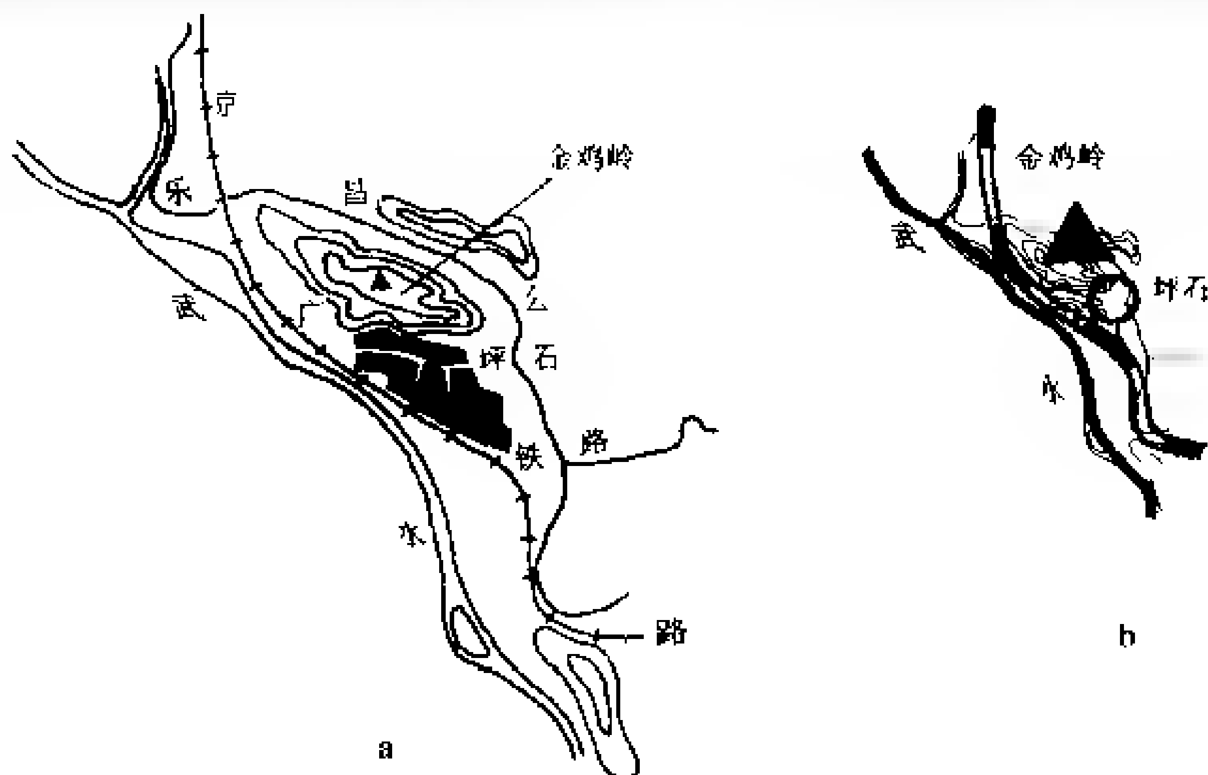


图3-36　位移

塘的堤埂，当比例尺缩小较多，防火道和堤埂只具有示意性质时，原有的森林面积或鱼塘群不可能绘出全部防火道和堤埂，而采取将面积图形适当示意性分割的方式（图3-38），有利于地物特征的表达。

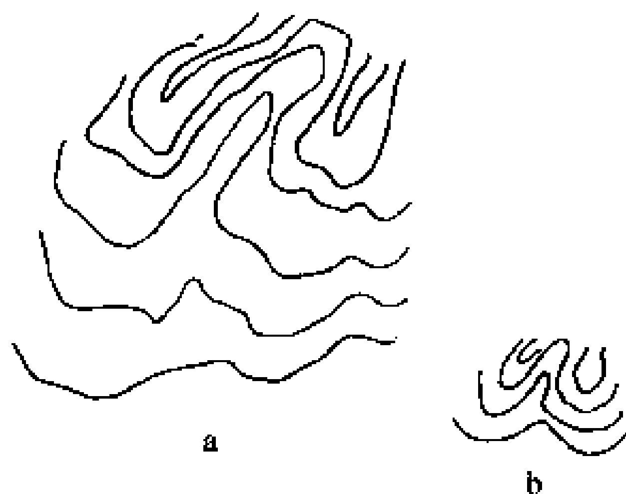


图3-37　合并

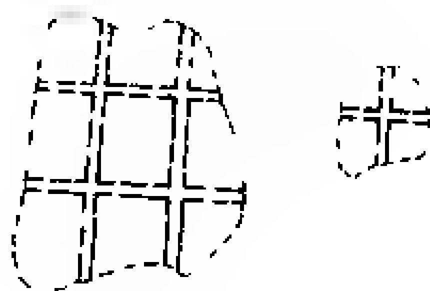


图3-38　分割的应用

§4　地图图括的现代发展

计算机制图使现代地图的编制更多地摆脱手工劳动，它对地图概括提出的要求是：总结概括的规律，研究地图概括过程的计量化和模型化，充分利用地图数据库和地理信息系统，以解决概括的各种问题。

较早的机助制图作业，是对空间数据的点和面的处理，利用点的删除构成新的图形。如图3-39是在若干个数据点中选择一个点，通过点子总数减少构成新图。

125点

220点

图3－39　机助制图中点的删除

1973年Douglas-Peucker简化线状数据点的连接，被认为是一种很好的概括方法[①]。这种方法是从整体出发考察一条线段（图3－40）。首先选取线的两端点AB，然后计算线段内其余各点到两端点连线的垂直距离，如果这些点（如C点）到直线距离大于阈值就被保留，如小于阈值则删去。再从C点到B点考察有无新的大于阈值的点，设D点大于阈值，可被保留，新的线段由ACDB连接组成。

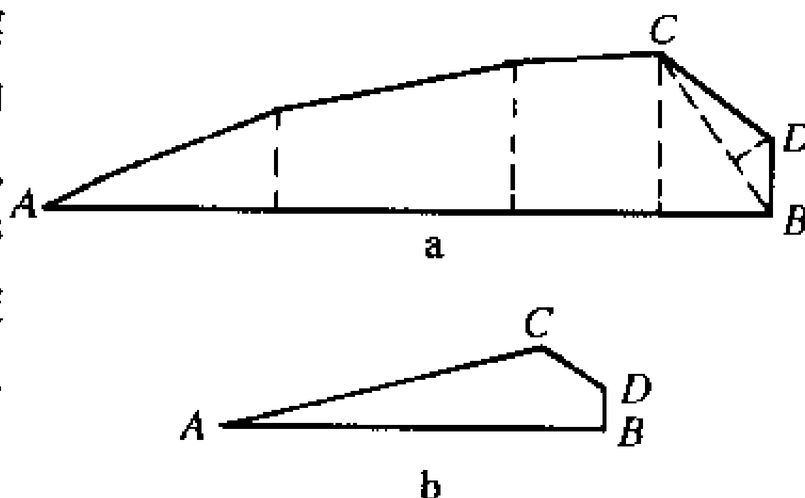


图3－40　道格拉斯算法

此外，曲线的平滑方法可以采用二次多项式平均加权法、张力样条函数插值法等。

曲面拟合的方法也常用于等值线模型的概括。

现代数学中的模糊集合论、图论、分形几何学的引入，促进了地图概括的进步。模糊综合评判方法计算地物的评判值，并研究它的结构模型，改进了等比数列法；图论的方法计算节点和边的强度值，对线划地物，如道路、河流的概括有相当帮助；分形几何是20世纪70年代中期创立的，通过自相似性的研究和计算，可认为保持线状符号的分维数是地图概括的准则，也可以成为评价地图概括好坏的标准。

近年来，我国研究地图概括方法的学者已经成为一个群体，发表了多篇地图

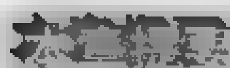
① D H Douglas, T K Peucker Algorithms for the Reduction of the Number of Point Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature The Canadian Cartographer, 10(1973): 112－122

概括的研究报告或专集。最近有学者对线状要素图形综合的渐进方法研究①，提出了渐进式线状要素两种图形综合法，即基于三角形的纯几何渐进方法和基于图形基本单元"弯曲"的渐进方法，明显优于Douglas-Peucker的线状概括步骤。

许多国外学者从事地图概括的研究，像德国的J.C.Muller②，美国的R.B.McMaster，K.S.Shea等③，都有许多数字地图概括的论述。国外学者还致力于神经元网络理论在地图概括中的应用研究。

国外市场上已出售自动、半自动地图概括系统，一些地理信息系统可提供有限概括功能，能实施对线状符号的简化及面状符号的分割或合并。例如蔡司公司研制的CHANGE系统、Intergraph公司研制的MGE地图概括系统，都为用户提供一定程度的自动概括软件。

可以预言，新的一个世纪，应用计算机处理的地图概括的算法和软件将成为地图编制中的主要工具。



地图概括是地图构成的重要法则之一。概括，就是采用简单、扼要的手段，提取空间数据中主要的、本质的数据，联系在一起，形成新的概念。

地图概括可分为四个步骤：分类、简化、夸张和符号化。它们是互为影响而不能截然分开的。

影响地图概括的因素包括：地图的用途和主题、比例尺、地理区域特征、数据质量和图解限度。

对手工的地图概括产生影响和行之有效的数量分析方法有：图解计算法、等比数列法、区域指标法、回归分析法和开方根规律。

地图概括的方法，在于编制一张反映事物本质的、符号化的（视觉化的）地图，在概括过程中应尽量避免主观性和不应有的夸大。

计算机技术的发展，数学方法（如模糊集合论、图论、分形几何）及生物和地学技术（如神经元网络系统、专家系统）的应用，为地图自动化铺平道路，减少了图形概括的主观性，促进了地图概括的现代化。但系统的理论研究和大面积自动概括，还有待学科的不断进步。

---

① 武汉测绘科技大学．武汉测绘科技大学学报，第23卷，第1期，1998.3

② 近期研究报告有：Z Wang，J C Muller．Line Generalization Based on an Analysis of Shape Characteristics．CAGIS，1997 10

③ 著有"Generealization in Digital Cartography"一书

复习思考题

1. 对图3-12的参考图和教学图的符号，按水系、居民点、道路三种要素排出一份符号表，比较两种图的概括程度。

2. 举地貌要素的例子，说明地理环境对地图概括的影响。

3. 找一张东北地区、一张西南地区的地形图(比例尺1:5万~1:50万均可)，比较一下地区特征影响地图表示的实例。

4. 你能不能系统地说明一条河流概括的过程、

5. 特普费尔的开方根规律为什么要改进？它适用于哪种概括计算？不太适用于哪种概括计算。

6. 请列举地图概括中5种符号降维转换的实例。

7. 给出资料图的比例尺为1:5万，拟编制一张1:20万的新图。请用一张透明纸覆盖在资料图上，选出拟编新图的居民点。

8. 地图概括怎样影响地图的精度？

参考文献

1 A H 罗宾逊等．地图学原理．第五版．北京:测绘出版社,1989

2 A H Robinson et al. Elements of Cartography. 6th ed. John Wiley & Sons Inc, 1995

3 费·特普费尔．制图综合．北京:测绘出版社,1982

4 陈述彭．地学的探索．第二卷．地图学．北京:科学出版社,1990

5 王家耀等．普通地图制图综合原理．北京:测绘出版社,1993

第4章

地图符号

人类创造文明的同时，也创造了用图形形式表现客观事物相互位置关系的地图。据说，最早的图版可能用于礼仪或祭祀[1]，逐渐地，用于军事的和治理国家的地图多了起来，图形的体例也就建立起来了。如果说，地图概括是地图的核心，那么符号化是形成一张地图的结果。

符号化过程要求我们认识地图符号和设计地图符号。这就必须从符号学的角度说明地图符号的性质，从几何学的角度进行地图符号的点、线、面分类，从心理学的角度说明设计地图符号的依据。

法国贝尔廷(J. Bertin)领导的图形实验室用了很长的时间系统地研究了图形的视觉特征，并归纳出图形视觉变量构成地图符号的基本要素。

由于地图符号与视觉相联系，心理学中的格式塔原则成为阐述地图感受理论与实践的基础。

地名，既是历史的见证，又具有政治敏感性。因此，编制地图的学者都应对此关注。

§1 作为地图语言的地图符号

1.1 符号与地图符号

符号是一种物质的对象、属性或过程，用它来表示抽象的概念。这种表示是以约定的关系为基础的。

人们常常将数学的 x、y、Σ、δ 代码，道路上"禁鸣喇叭"、"人行道"的标志泛称为符号，它们是采用一一对应的方式把复杂的事物用简便的代号表现出来，这种代号之间可以没有必然的联系。所以有些学者认为这种数学的代码、管制交通的标志不能称为符号。

---

① 参阅文献10，第23页

最典型的符号是语言，语言是表达观念的系统。瑞士绪索尔(F.D.Saussure)把语言符号看作是概念和音响形象相联结的复合体(图4-1)。幼儿看到一棵树，这是客观存在的，他不知道是什么，大人告诉他，让他张嘴说出来这是"树"，从此，这个幼儿看到这类实体，产生树的概念，并喊出："树"。言语上的"树"就代表了树的概念。语言上的"树"就是实物树的符号。



图4-1 语言的复合体

一个完整的语言符号，可用等式表达：

$$\frac{\text{概念}}{\text{音响形象}} = \frac{\text{被表示成分}}{\text{表示成分}}$$

也可以说，被表示成分构成内容方面，表示成分则组成表达方面。

语言符号构成了一门学科，包括语义、语句、及其结构和应用，称为语言学。语言有两方面的基本特征，即语言的横向和纵向两个轴：

(1) 语词链，即语言的横向组合。例如"这就是树"。在发声的语言中，语词的排列是线性的，两个语词不可能同时发声，也不可逆读，如不能读成"树是就这"；每一语词都从它和前面的或后面的语词的语言环境中取得它的意义。

(2) 关联词，即语言的纵向聚合。同语词链相比，它是在记忆中被关联的，并构成各式各样的关联体。例如："我是教师"、"我要读书"、"我在看书"、"我进教室"，着重点表示的便是关联词，是一种等价变换。

语言在结构上和组织上与任何形式的社会行为都相似，处在典范的地位，所以语言可以作为符号学的样板。语言学原理应用到各具体领域，就产生部门符号学。

现在我们反过来考察一下构成地图的"记号"是否称得上符号了。

(1) 地图记号具有被表示成分和表示成分的特征 地图记号所指的是一种空间信息，或一个实体的概念，一个完善的地图记号就能够概括这种信息的概念。若把绪索尔的语言模式改变为：

概念——空间信息

音响形象——视觉形象

足以说明地图的记号是空间信息和视觉形象复合体。

(2) 地图记号有一定的约定性 记号的产生无论是独立记号或一组图式，都是制图时在形式和内容之间作出的某种约定。例如在同一幅图内，居民点采用圈形记号后不能再采用三角形记号，指定的居民点圈形记号不能同时又是表示其它专题内容的记号。

(3) 地图记号可以等价变换 记号在指示概念的约定过程中，不同形式的

记号存在等价关系，多个记号可以代指同一概念。例如在不同图幅中，用三角形、圆形、方形、文字的记号都可以作为等价记号表示一个金矿。

(4) 记号构成地图　像语言一样，地图信息具有语义表达和语句特征。通常，我们将地图记号同记号之间的关系，称为表层结构，也即语言结构。此外，地图还反映客观世界的物质现象、知识概念(例如经纬度、方位、比例尺知识)，以及人的主观创造活动，这些关系都形成记号的深层结构。

地图记号区别于语言的最大差别是：从视觉上地图的空间是二维的，从听觉上语言的空间是一维的、线性的(但是数字地图的产生也是线性的)。

我们的结论是：符号学的理论原则可以应用到地图学领域，地图上的记号是符号，地图符号的研究和应用，属于部门符号学范畴。

1.2　地图符号的视觉感受与认知过程

对地图符号的形成和发展起指导作用的，是对符号的视觉感受和认知过程的研究。

视觉对地图符号的感受研究是通过心理物理实验进行的，其目的在于解释知觉对图形的形式、大小、颜色、强度，以及分解、组合上的状态或数量的差别。于1912年创立的格式塔心理学以知觉作为分析对象，他们认为，外界的事物对视网膜产生刺激，由神经传导至大脑皮层所作出的反应，是知觉发展的过程。而由此产生的“形”都是视知觉积极组织的、经验产生的完整印象。格式塔是德文Gastalt的音译，其含义为“完美的形状”。所以格式塔心理学又称为完形心理学。

格式塔心理学最本质的特征是研究经视知觉检验过的整体，他们论证了其后被系统论所确认的原则：“整体大于局部之和”。例如音符只是有数的几个，而经过对音符的组织谱曲，可以奏出一鸣惊人的、不同的乐章；地图符号也只是“零部件”，指挥员把它放在一定的位置上就可以作为战役图，明了敌我的态势。格式塔的另一个特征是变换性：一个被确认了的完形，当组成它的物质成分产生变异时，完形依然存在，例如贝多芬的一首乐曲，不管用钢琴、小提琴、木琴或其他乐器演奏，乐曲的格调不变。

虽然格式塔心理学的理论有缺憾，但它主张研究意识，企图揭露有别于生理机制的心理活动的内部过程，在图形认识论上前进了一大步。正如美国的阿恩海姆(R. Arnheim)在《艺术与视知觉》一书中指出的：“真正为我们对视知觉的认识奠定基础的，是格式塔学派在实验室里进行的大量工作。”“假如不能把握事物的整体或统一结构，就永远不能创造或欣赏艺术品。”[①]在以下章节分析地图符

① 引自文献6，第4～5页

号的感受性时，我们将多处应用格式塔原则。

从考古发掘中出土了一些古代地图，它们或是绘制在纺织品上，或者是一种实物模块，尽管这些都发生在人们使用测量设备测绘地图之前，但都比较准确地反映了一个区域的地理主脉。这就是表象地图(mentel map)，或称心象地图。长期以来，心理学将表象和知觉联系在一起，几乎和知觉等价，把这种存贮的记忆类似于视知觉中可以随时调出的图画。表象活动实际上是人类对信息加工的结果，是认知过程。

以信息加工观点为特征的认知心理学，又称信息加工心理学。

无论是人或计算机，信息加工过程都是操纵符号的。它的特征是：

(1) 符号是模式，在加工系统中符号的功能代表外部世界的事物。

(2) 符号通过一定的联系形成符号结构——语句。符号与符号结构是外部世界的内部表征。

(3) 符号还可以标示信息加工的操作。一个符号结构可以标志另一个符号结构或标志一个程序。

(4) 信息加工系统得到某个符号就可以得到该符号所代表的外部世界，或进行该符号所标志的操作。

信息加工是怎样进行的呢？举个在小比例尺地图上选取代表广州市的居民点符号为例。首先，在编图资料上有关广州市的刺激信号进入感觉系统而被登记——瞬时记忆(广州市是人口百万以上的省会)；其次，在注意的作用下，广州市所在位置被识别并转到短时记忆；再与从长时记忆中提来的居民点信息相匹配(根据图例规定，百万以上人口的省会是用双圈形符号表示)，而进行在广州市的位置上用双圈形符号标志的操作，就是认知心理过程中记忆信息(瞬时记忆，短时记忆和长时记忆)三级加工模型(图4-2)。

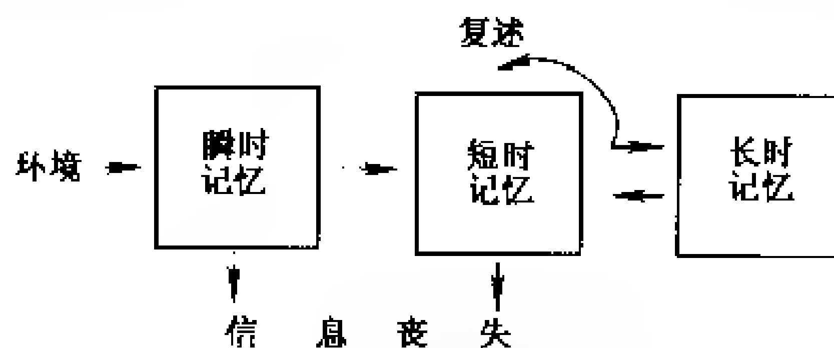


图4-2 记忆信息三级加工模型

认知心理学的核心是揭示认知过程的内部心理机制，即信息如何获得、存贮、加工和使用的。它的手段是注重实验设计，建立心理过程的计算机模拟，以求得到判定内部心理机制所需的实验结果。

认知心理学继承了格式塔心理学关于内部心理组织的一些观点，立足于心理机制研究的信息加工过程，得益于控制论、信息论和计算机科学的兴起。一些

学者企图将研究人的认知的几种独立学科，如心理学、人工智能、逻辑与认识论等加以综合，形成单一学科——认知科学。近十年来，地图学也出现了认知制图学实验研究。

1.3 地图符号与地图模型

地图是空间信息的符号模型，符号具有地图语言的功能，它表现在以下的四个方面：

(1) 地图符号是空间信息传递的手段。社会中任何人不可能直接接触所要了解的一切对象，空间信息在制图者的认识、改造和制作过程中，被符号化后构成地图。地图又只是认识客观世界的间接手段，因为读图者阅读地图，但地图上不可能像看电影那样恢复地物的形象。例如"爱晚亭"的形象是读者到过或见过爱晚亭的像片在头脑中的长时记忆，而在地图的具体位置上只有一个亭子符号和"爱晚亭"注记。所以符号所传递的只能是具有抽象、综合和简化了的空间信息符号模型。

(2) 地图符号构成的符号模型，不受比例尺缩小的限制，仍能反映区域的基本面貌。普通地图在图解精度内能获得区域环境的基本知识，而专题地图还能在制图空间内，通过图例的各种形式(符号、注记、剖面等)，任意缩放，完整地表达专题内容。

(3) 地图符号提供地图极大的表现能力。既能表示具体的地物如城镇、山林分布，也能表示抽象的事物如宗教信仰、文化素质的区域差异；既能表示地理现状如河流、山岭，也能表示历史时代的事件如黄河改道，以及未来的计划如设计中的道路和土地开发；既能表示地物的外形如海岸线，又能表示地球的物理状态，如重力场或地磁偏角。

(4) 地图符号能再现客体的空间模型，或者给难以表达的现象建立构想模型。例如等值线——等高线、等温线可以构成立体模型，或构成经过回归分析的趋势面模型。符号之间和曲面上都可以进行数量的测度。

§2 量表在符号设计中的应用

2.1 地图符号的分类

任何地理事物，都随空间或时间而变化，这些事物中有可视的、可测度的或历史记录的，它们都具备定位的特征。因而，这些空间信息的几何分类需要用系

统的方法确定。

空间分布有四种类型：点位分布，线状分布、面积分布和体积分布。

维数，是几何学和空间理论的基本概念。点位数据是0维的，线状数据是1维的，面积数据是2维的，它们都可以用 x、y 两个实数表述，体积数据是3维的，表述为 x，y，z。随时间而迁移，时空的点可以用4维的 x，y，z，t 表述。

点位分布可以表现为：存在于一个独立位置上的事物、离散的空间现象、一个测量控制点、一座城市等，代表一个地区的国民经济统计图形，也算作点位分布。因此点状符号在地图上是一个定位点。

线状分布指存在于空间的有序现象，如河流、河堤、道路、运输线，它们可能扩散成一个宽带，以具有相对长度和路线为主要特征。因此线状符号在地图上是一个线段。

面积分布指事物的占有范围、连续的空间现象。区域性的自然资源、民族、语言和宗教分布、气候类型、城市的范围等，都可以用面状符号表示。因此面状符号在地图上是一块图斑。

体积分布可以推想为从某一基准面向上下延伸的空间体，例如人口或一座城市，可以表示具有体积量度特征的有形实物（例如用等高线表示地势）或概念产物（例如用等值线表示人口密度），这些空间现象可以构成一个光滑曲面。因此体积符号在地图上可以表现为点状、线状或面状三维模型。

所以，把地图上符号的分类确定为点状符号、线状符号、面状符号、体积符号（图4-3），既符合空间事物的抽象特征，也利于数学的描述。

当我们进一步观察地图符号的相关形态时，还可以从另外的角度对它分类：

从视觉上，地图符号可分为形象符号和抽象符号（图4-4）。形象符号指对应于空间事物形态特征的符号，如森林、房屋、岸线等地物。普通地图上的多数符号，其本质是形象符号，并且它的象征性和约定性较强。抽象符号指用几何形状和色彩表示的符号系列，这些符号能体现量的变化，但约定性很差，一个三角形既可以代表控制点，也可以代表金矿、消防队等。

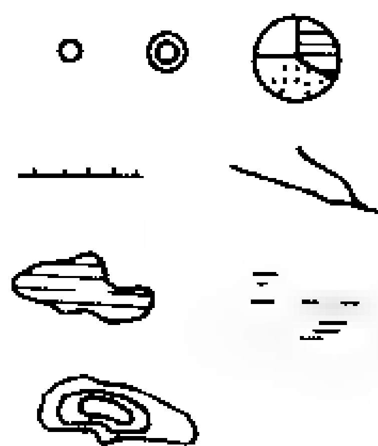


图4-3 符号的分类

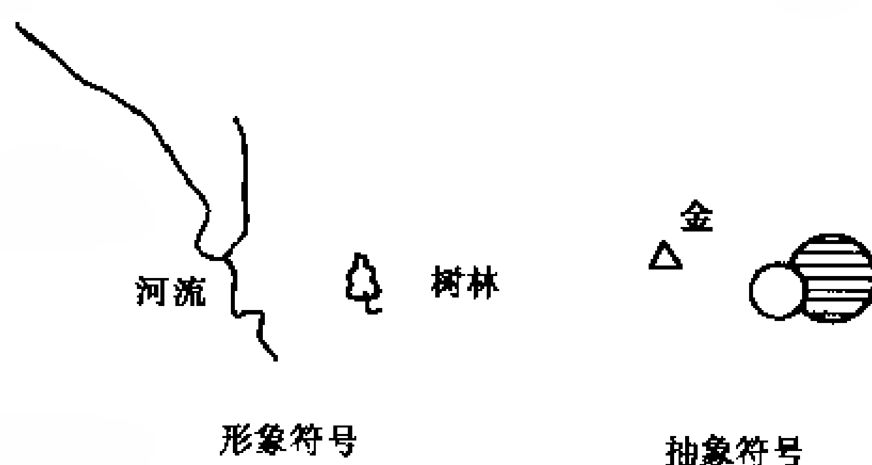


图4-4 符号在视觉上的分类

从对地图比例尺的依存关系上，地图符号可分为比例符号、半比例符号和非比例符号。

2.2 地图符号的量表

空间信息是可以从空间获得的事物，又称空间数据，地理学者为了在地图上直接或间接描述空间的数量特征，应用了心理物理学惯常采用的量度方法——量表法，对空间数据进行数学处理。根据被处理数据的属性，量表法可分为四种：定名量表、顺序量表、间距量表和比率量表，它们各自适用于某种或多种数学的研究方法。

1. 定名量表

是最低水平的量表尺度。众数是最佳的数字统计量，它以一个群体中出现频率最大的类别定名。

例如表4-1，在两个区域内A区棉花种植面积最多（频数为125亩），B区玉米种植面积最多（频数为324亩），它们是A、B区域中的众数。

表4-1 众数决定定名量表

品种	A区/亩	B区/亩
小麦	47	21
棉花	125	32
玉米	63	324
薯类	9	73

因此，对两个区域的代表作物命名时，A区被注名：棉花，B区被注名：玉米（图4-5）。

衡量用众数描述定名量表是否准确的检验公式是变率。

$$\text{变率 } V = 1 - \frac{\text{众数的频数 } F}{\text{总数 } N} \qquad (4-1)$$

A区棉花的V值为0.49，B区玉米的V值为0.28。V值愈小，定名的代表性愈大，效果愈好。

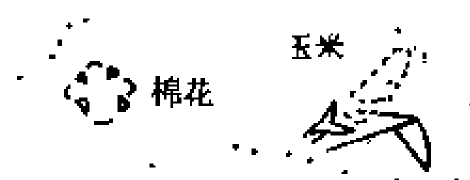


图4-5 定名量表

定名量表几乎不需要进行数学处理，只要找出它的代表属性就可以定名。例如土地覆盖图上分出林地、草地、耕地、沼泽等，只要这些类型在图斑内比其他类型占优势，定名成立。

2. 顺序量表

这种量表是将数组按顺序排列，其结果是没有绝对零值。

顺序量表的运算方法是选择中位数，并以四分位法研究观测结果的排序位置或编号的离差。

表 4-2 嘉南镇蚕丝生产表

乡名	顺序		产量/kg
大南	1		3 726
多良	2		2 174
王岗	3		1 967
陈李庄	4		1 213
沙峪	5		876
簸店	6	中位数	543
尚店	7		329
梓南	8		137
梓西	9		98
合	10		72
瓦良	11		59
万和	12		23

以表 4-2 的数据组为例，嘉南镇 12 个乡的蚕丝产量如表列，中位数位置在顺序 6，7 之间，中位数 Q_2 即为(543 + 329)/2 = 436，较高的四分位 Q_1 即为(1 967 + 1 213)/2 = 1 590，较低的四分位 Q_3 即为(98 + 72)/2 = 85。

顺序量表显示地图符号的量为优、良、中、差或大、中、小。

若分为四级顺序，则四分位正好是排序的分界，产量1 590、436、85kg 成为优、良、中、差的顺序界线；若分为大、中、小产量顺序，我们便要研究一下四分位值域的问题。四分位值域位于中位数两侧，反映了最接近中位数的地理数据特征，即 Q_1 和 Q_3 之间，其值域为 $Q_1 - Q_3 =$ 1 590 - 85 = 1 505，而衡量四分法可能产生的偏差 V 即为：

$$V = (Q_1 - Q_3)/2 = 752(\text{kg})$$

可见，大产量应在1 590kg 以上，而小产量应在 85kg 以下，1 590 ~ 85kg 之间应分为中产量(图 4-6)。

顺序量表也可以人为地任意分界，例如把产量2 000kg 以上，2 000 ~ 1 000kg，1 000kg 以下共分成三档。

3. 间距量表

采用间距量表可以区分空间数据量的差别，常用的统计量是算术平均值，而描述数据的平均值离散度是标准差。

以表 4-3 的数据为例，大名县各个乡的小麦产量如表所列。全县的平均产量 $\bar{x}$ 和标准差 δ 按下式计算：

$$\bar{x} = \frac{\Sigma X}{n} \qquad (4-2)$$

$$\delta = \pm\sqrt{\frac{\Sigma(X - \bar{x})^2}{n}} \qquad (4-3)$$

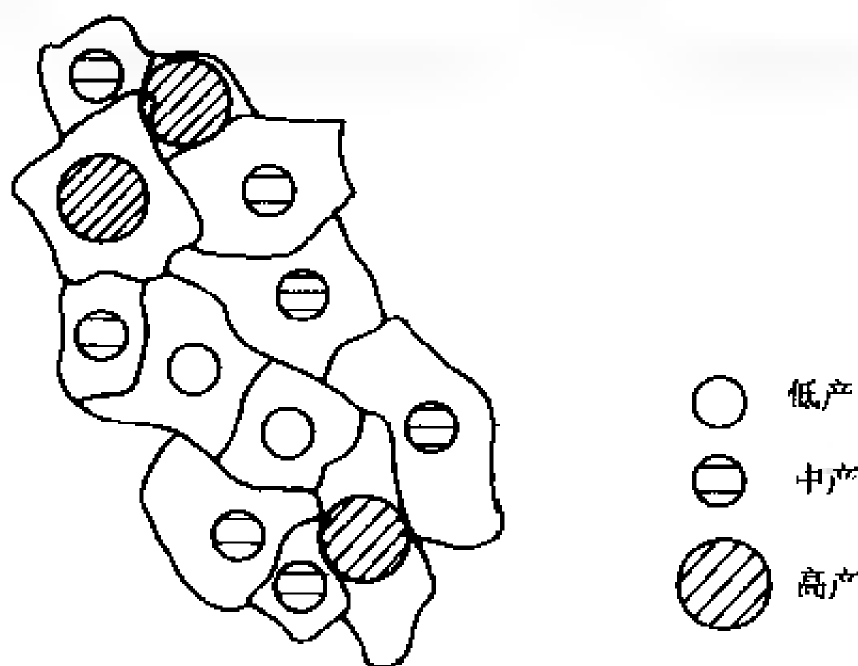


图4 6 顺序量表

表4-3 大名县小麦产量

乡名	kg/亩	乡名	kg/亩
黄下	2 136	大洲	2 481
张棚	2 701	士仏	976
长乐	1 423	府前	1 223
小让	1 275	府右	1 549
加鱼	2 343	石坪	1 038
有利	1 691	门	1 149
石留	1 881	统	1 539
乐平	1 924	东引	1 710

式中 n 为乡数,X 为乡的每亩产量,则本例:

$$x = 1\,690 \qquad \delta = \pm 507$$

平均值与标准差之间存在空间数据的某些数学法则:当数据具有频率曲线的钟形分布状态时,我们称为正态分布(图4 7)。

间距量表的间距可定为标准差 σ(或 $\sigma/2$,$3\sigma/2$ 等),间距的排列,有:

$$x-2\sigma,x-\sigma,x,x+\sigma,x+2\sigma$$

则表4-3的数据间距便有以下各项:

676,1 183,1 690,2 197,2 704

表4 3的数据,出现在间距之间的频数有:

3 5 5 3

676, 1 183, 1 690, 2 197, 2 704

图4 8即为大名县小麦单产分布图. 从这个例子中我们可以总结出:间距量表也没有绝对零值,而且数据的运算只有加减法而不能用乘除法来处理.

4. 比率量表

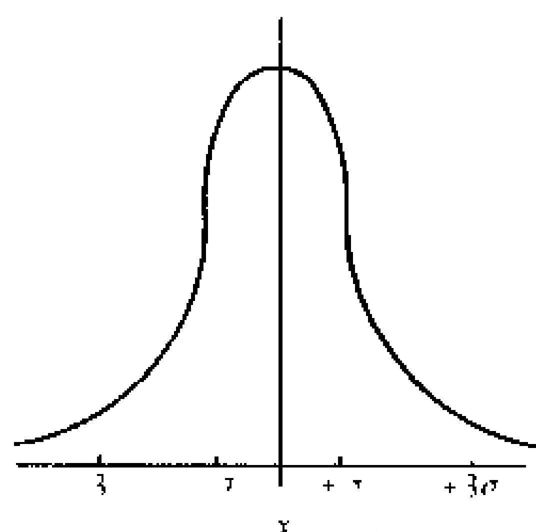


图4-7 正态分布曲线

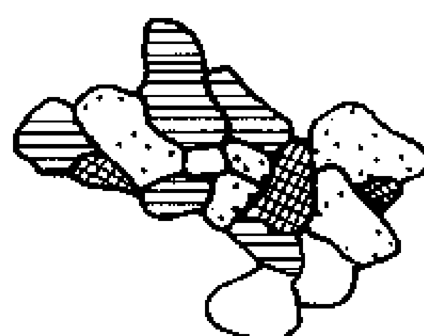


图4-8 间距量表

比率量表和间距量表一样，按已知数据的间隔排序，但呈比率变化，从绝对零值开始又能进行各种算术运算，它实际上是间距量表的精确化。

以表4-2的数据为例，设蚕丝产量的最低值为 L，最高值为 H，比率为 r，按5级排序，则有：

$$L, kLr, kLr^2, kLr^3, kLr^4, H$$

$$H = kLr^5, k = H/Lr^5 \qquad (4-4)$$

式中，k 为常数项

令 $L=23, H=3\,726$ 设 $r=2$，则有：

$$k = 3\,726/(23\times 32) = 5.062\,5$$

5项的数据排列即为：

23，233，466，931，1 863，3 726

通常，量表都凑成整数便于阅读，则本例的比率量表可排列为：

<240，240～470，470～950，950～1 900，>1 900

或<250，250～500，500～1 000，1 000～2 000，>2 000

其图形结构如图4-9。

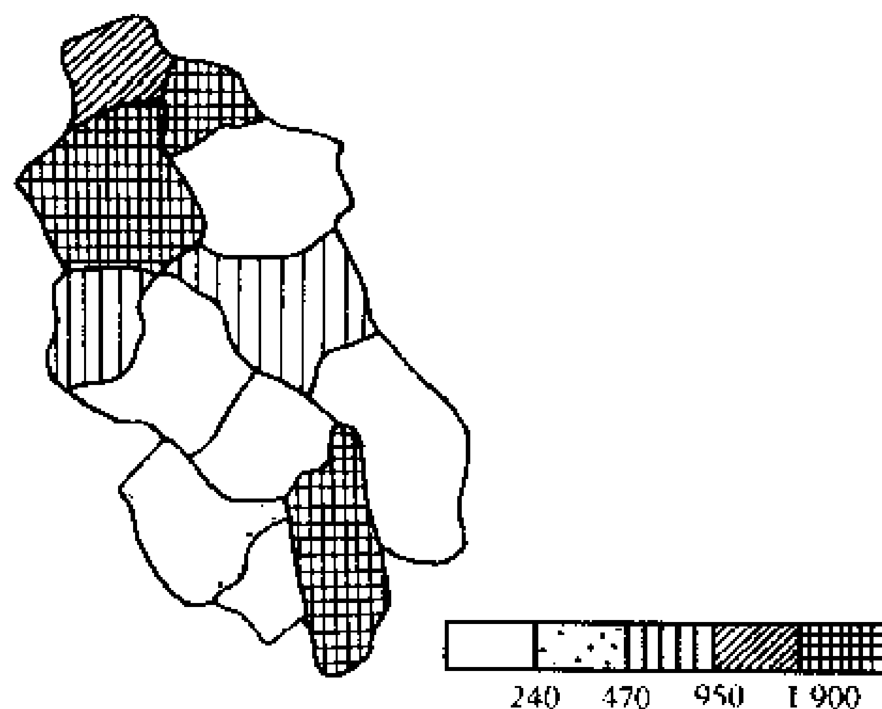


图4-9 比率量表

将符号的类别和量表组合起来，再加上注记，便成为地图符号的基本体系，它的结构如图4－10所示。

量表	点状符号	线状符号	面状符号
定名	城市	河流	
顺序	小 中 大	高速公路 公路 大路	低产 高产
间距	0 10 20 30	Ⅰ等 Ⅱ等 Ⅲ等	40 30 20 10 0
比率	9 27 81 0 3	1~3 3~9 9~27	120 40 25 8 0

图4－10 符号体系

§3 构成符号的视觉变量

3.1 视觉变量

1967年，法国贝尔廷(J. Bertin)领导的图形实验室经过多年的探讨，提出图

形外观的差别,是改变了形状、尺寸、方向、亮度、色彩和密度的结果,称为视觉变量。近30年来,许多学者在肯定了贝尔廷视觉变量理论的同时,提出了多种构成图形要素的方案。

1974年美国莫里逊(J. Morrison)提出视觉变量可以包括形状、尺寸、色相、亮度、饱和度以及图案的方向、排列和纹理。1976年苏联萨里谢夫将图形要素理解为"绘图方法",可以细分为形状、尺寸、颜色、方向、亮度、(图形)结构。1977年英国鲍德认为用"制图字母"一词表示图形要素更形象,他认为"制图字母"可包括:形状、尺寸、图案(方向、排列)、纹理、色彩(色相、饱和度、亮度)。1982年英国基茨(J.S.Keates)在《理解地图》一书中提出图形要素可称为"图形变量",包括"形状、尺度、维、亮度和联合使用"。1984年美国罗宾逊等在《地图学原理》(第五版)中,将图形要素定名为基本图形要素,包括:色相、亮度、尺寸、形状、密度、方向、位置。11年后,1995年《地图学原理》(第六版),作者改用"视觉变量"代替"基本图形要素"一词,并认为视觉变量可划分为基本的和从属的两部分,它们是:基本视觉变量——形状、尺寸、方向、颜色的色相、颜色的亮度、颜色的彩度;从属视觉变量——网纹的排列、网纹的纹理、网纹的方向。可见贝尔廷的视觉变量观点,已被人们承认是分析图形要素比较合适的方法。

我们认为,视觉变量是构成图形的基本要素,它包括:形状、尺寸、方向、颜色、网纹5个方面。在细分时,颜色的3个特性可以理解为独立的视觉变量,而网纹中的三种组合,也分别具备视觉变量的特征。

1. 形状变量

是视觉上能区别开来的几何图形的单体。对于点状符号来说,符号本身就体现了形状的变量。如圆形、三角形或其他多边形,如图4-11a。在同等面积的符号中形状变异的多样化,给地图设计带来丰富的形式。线状或面状符号,是由连续的点或点的排列组成。形状变量在线状符号中是一个个形状变量的连续,在面状符号中是一排排形状变量的连续,而不是整线段或整个面积同属一个形状变量(图4-11b)。所以两条曲折程度不同的河流、大小面积不同的两片林地,它们的形状变量只有一种。

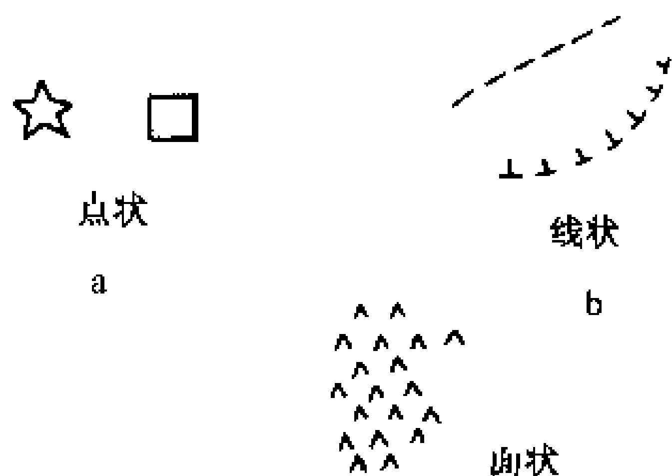


图4-11 形状变量

2. 尺寸变量

是组成不同形状的符号在量度上的变量。衡量尺寸变量要从几何面的直径、长、宽、高和多边形的面积作比较。图4-12a是尺寸变量的形式,但b图由于组成图斑的符号都是相同大小的点,因此被认为没有尺寸变量的变化

3. 方向变量

适用于长形或线状的符号。所谓方向变化是对图幅的坐标系统而言，在整幅图中必须和地理坐标的经线或直角坐标线成同一的交角(图4-13)，才不致混淆。圆形符号(甚至正方形符号)就没有方向之分。

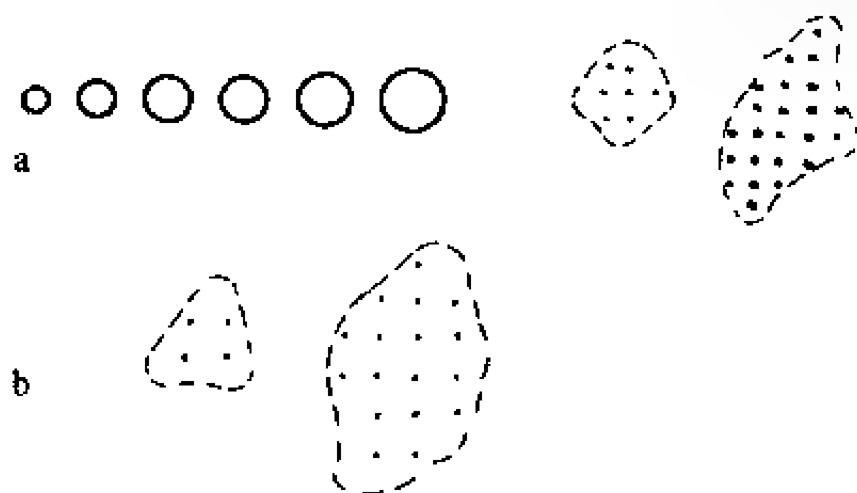


图4-12　尺寸变量

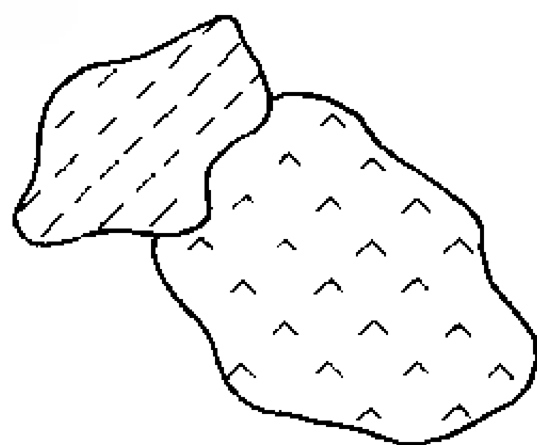


图4-13　方向变量

4. 颜色变量

是最活跃的一种视觉变量。颜色包括彩色和非彩色(黑白色)，彩色具有色相、亮度和彩度三种特性，而非彩色只有亮度特性。彩色的三种特性对制图来说各有作用，因而也可以各自成为一种视觉变量。

色相变量是颜色呈现出来质的变化。亮度变量除了构成某一种色相的亮度变化外，从黑到白的亮度渐变，是地图设计中广为应用的方法。彩度或称饱和度，指彩色相对于光谱色的纯洁度，当光谱色掺入灰色成分愈多时就愈不饱和，灰色成分达到很大比例时彩度就接近灰黑色了。

普通地图中的点、线、面符号和绝大多数的专题地图点、线、面符号，都单独地或组合地应用颜色变量。

5. 网纹变量

指在一个符号或面积内部对线条或图形记号的重复交替使用。网纹有许多种，可归纳为线划网纹、点状网纹和混合网纹。就网纹的组合来说，主要表现在方向、纹理和排列上，并且以整体特征被感受。

网纹的方向变量是与图廓或读者视平面相交的方向线，在面状符号中，网纹线的宽度和间距是一定的，其方向多数为水平线、对角线或垂直线，任意角度的方向线会使面状符号之间产生混淆

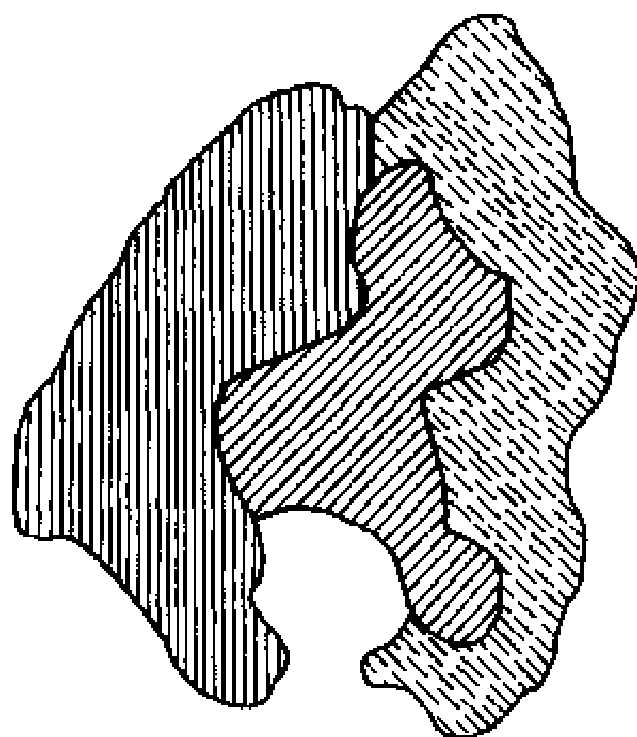


图4-14　网纹产生的不稳定刺激

方向线受图形后效的影响，会产生图形不稳定的视觉刺激（图4-14），因此，选择网纹的线宽和间距要做较多的试验，才能使图形形成良好的感受效果。

网纹的纹理变量由间距相等的点或平行线段组成，线段可以是虚线、实线或波纹线。衡量这些规则排列的点、线组合用每英寸含多少线或点（Lines per inch或Dots per inch，即lpi、dpi）表示。亮度变量和纹理变量的外形相似，它们的区别是：大于50dpi的网纹，属亮度变量；小于50dpi的点或线的网纹，属纹理变量。点状纹理也称晕点，线状纹理也称晕线。

网纹的排列变量由规则或不规则、抽象或象形的形状所组成（图4-15）亮度变量和排列变量是很容易划分的，后者图形多变，常用于定名的面状符号

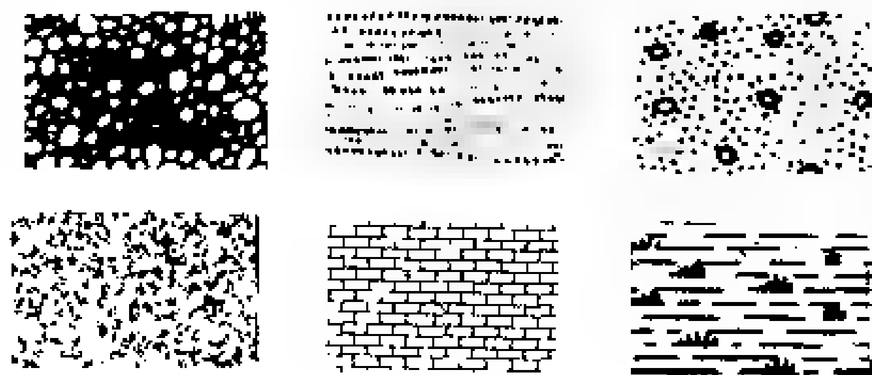


图4-15 网纹的排列变量

3.2 视觉变量的组合

点、线、面符号在视觉变量上的关系，可归纳如图4-16。

在千变万化的符号形式中，我们根据空间事物相互联系的特征，以某种变量为主脉，可以形成一系列的符号结构。

在点状符号中：

(1) 改变形状 如果选择铜矿的符号，可以出现图4-17a中的三角形、圆形、矩形、方形作为铜矿标记在地图的位置上。

(2) 间断形状 如图4-17b中的废墟、田间路、可通行沼泽，表示为次要等级，降低了符号的重要性。

(3) 附加形状 如图4-17c，构成同一类别地物的一个亚类。

(4) 组合形状 如图4-17d，由两种或多种形状变量组合而成，反映地物相互联系的意义

(5) 改变方向 形状变量表达符号含意，若改变形状变量的方向，那么符号的意义产生变化，如图4-17e的明礁、暗礁。

线状符号形状的连续变化，可以产生如图4-18的实线和间断线。也可以用叠加、组合和定向构成一个相互联系的线状符号系列（图4-19a）。线状符号

变量	点状符号	线状符号	面状符号
形状			
尺寸			
方向			
色相	黄 紫	红 蓝	绿 青
亮度			
网纹			

图4-16 点 线 面在视觉变量上的关系

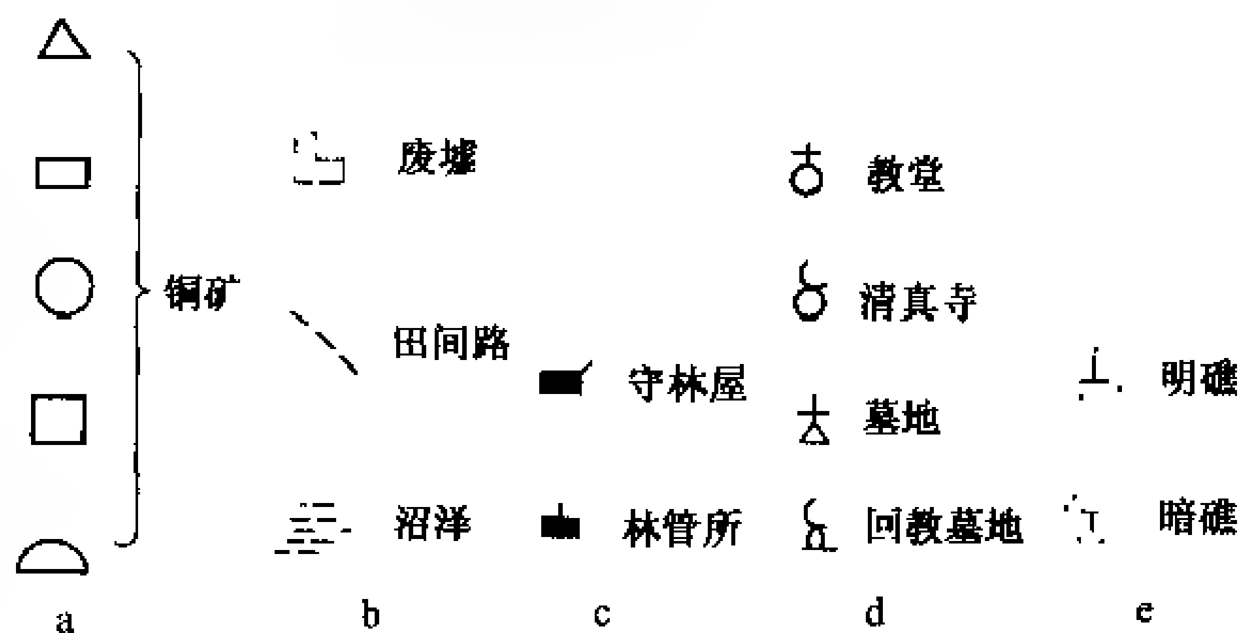


图4-17 形状变量的组合

的变化也不限于一种变量，如图4-19b，尺寸变量参与了线状符号的变异。

面状符号的结构中，网纹变量起很大作用，在一定意义上说，网纹变量是形状变量的集合。计算机制图时，重复排列的网纹容易生成，并存储在符号库中供快速调用。

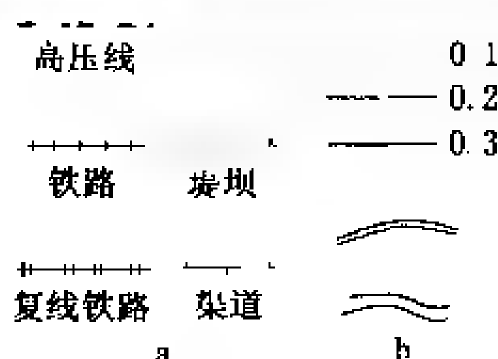


图4-18 线状的变化　　　　图4-19 线状符号系列

从构形而言,视觉变量产生的符号可以区分为规则的(对称的)和不规则的(非对称的)图形,如图4-20所示。象形符号(如餐饮业符号)也是一种不规则符号,很难以某种变量说明它。

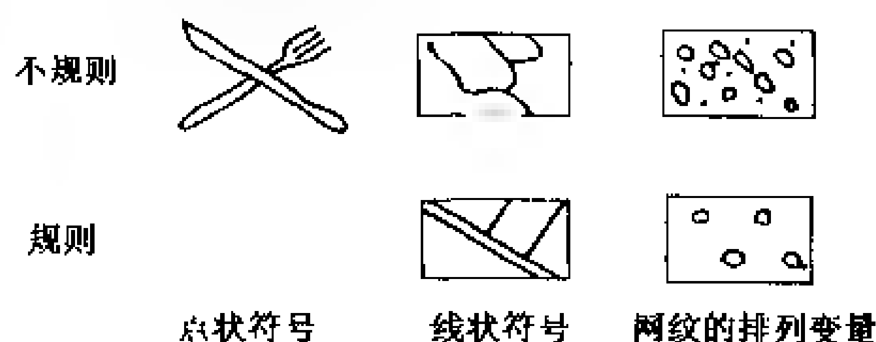


图4-20 规则与不规则符号

§4 彩 色

4.1 彩色的量度

一束日光通过三棱镜的折射,可以产生不同波长的红、橙、黄、绿、蓝、紫的色带(彩图4-1),如果我们能用透镜把色带聚焦起来,它又重新成为白光。

色光是具有一定波长的单色光,例如红色光,虽然占有一段波长,但这段波长内还可以分出多种红色光,这是因为视觉在正常的情况下可分辨出它们之间波长差2~4nm的中间色光。所以,在可见光波段约300nm的范围内,视觉能分辨出上百种光谱色。

每一种彩色视觉都可依据三个特性进行度量,即色相、亮度和彩度。

1. 色相

是彩色视觉相互区别的心理学特征,它取决于某种彩色反射光谱的主波长。通常,我们把红、橙、黄、绿、蓝、紫定为基本色相,其他的中间色则有:红偏紫、红紫、品红、紫偏蓝等。在视觉分析时,可以证明眼睛视网膜上的锥体细胞能分辨

颜色。在较高照度下，视网膜中央的不同锥体细胞对红、绿、蓝三种颜色敏感，这三种色光的适当波长混合后产生白色(彩图4－2)，三种或两种色光的混合能产生任何彩色。于是，红、绿、蓝色称为三原色，它们的混合方法称为加色法。其实，只选择两种主波长不同的色光以适当比例混合，也能产生白色，这一对波长叫做互补波长，例如575.5nm的黄色和474.5nm的蓝色混合，是一种波长互补，它的色相叫做互补色。

反过来，如果我们从白色中用滤色镜过滤蓝色，会得到黄色；过滤绿色会得到品红色；过滤红色会得到青色；这种单色光过滤的方法，获得三间色，我们称为减色法(彩图4－3)，于是有：

三原色　又称加色原色：红、绿、蓝。用于光的混合和彩色监视器的彩色显示。

三间色　又称减色原色：黄、品红、青。用于颜料和印刷。

2. 亮度

表示色光的强度，是彩色和非彩色的明暗特征。亮度在概念上容易理解，但在实际运用时有不少困难，某种灰色或指定亮度的色相(绿色)，放在黄色背景上看，是一回事，而放在其他色相(蓝色)上看时，视觉上的亮度效应很不一样。心理因素对亮度的对比产生影响(彩图4－4)。

蒙赛尔(A.H.Munsell)曾经对等值亮度尺的制作进行实验，其中一种方法是让受试者看一块黑色、一块白色和多块不同灰度的色样，要求受试者从各种灰色样中选出一块与黑、白色样有同等差别的一块灰色样，受试者选出一块中灰色。然后，受试者再从中灰色样与黑色样之间选择同等差别的另一块灰色样，受试者选出一块深灰色样。如此下去，假如选出的从白到灰到黑的各样片具有等差值的灰阶，再用反射密度计测出它们的反射率，并作成曲线图(图4－21)。

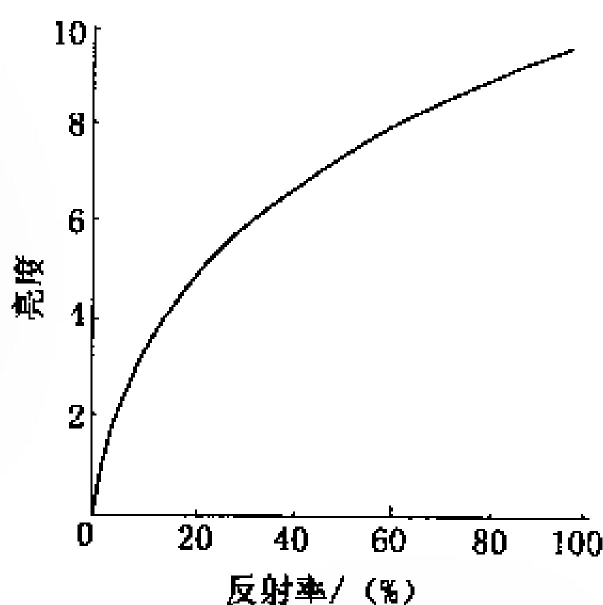


图4－21　等值亮度的反射率曲线

由曲线图可得出结论：等亮度间隔色块和它的光反射率之间呈非线性关系。

任何色相的亮度级分得过多时，不容易被识别，亮度对比加大，才容易分辨，如果某种色相(例如黄色)原来就较浅淡，能分辨的亮度级要少一些。非彩色的亮度变化就是亮度最小的黑色向亮度最大的白色渐变过程，由此形成黑－灰－白的灰阶。在地图设计中灰阶得到广泛的应用。

3. 彩度

它的心理学概念就是饱和度，是指彩色相对于光谱色的纯洁度。由三棱镜分光产生的光谱色，例如主波长为445nm的彩色是非常纯的蓝色(所以彩度也称纯度)，假如把不同亮度的灰色加入这个蓝色中，其结果产生艳蓝、强蓝、中蓝、弱蓝、蓝灰、灰

它表示蓝色的彩度逐渐减弱，也可以称为纯度逐渐降低，或不饱和程度加大

彩度对于色彩来说，不仅是一种量度标准，而且构成了彩色的千差万别，丰富了色库，在印刷上我们常用的四色印刷是黄色、品红色、青色和黑色，其中黑色即是灰色的浓淡，它与其他彩色的调和，极大地丰富了印刷品的色调。

彩度常常参与地图的配色，不同的彩度弥补了图面的彩色设计。

4.2 色的表示

有效地选择彩色，需要对颜色的表示有基本的了解。

1 蒙赛尔色立体

蒙赛尔根据彩色的色相、亮度、彩度三种特性，设计成一个蒙赛尔色立体（图4－22）。10个色相构成色带环绕色立体，每一色相又可分为10份，"5"的位置标志色相的纯色，色环上有100个不同的色相，例如5R、10B、8G，分别标志一个特定的色相（彩图4－5）。

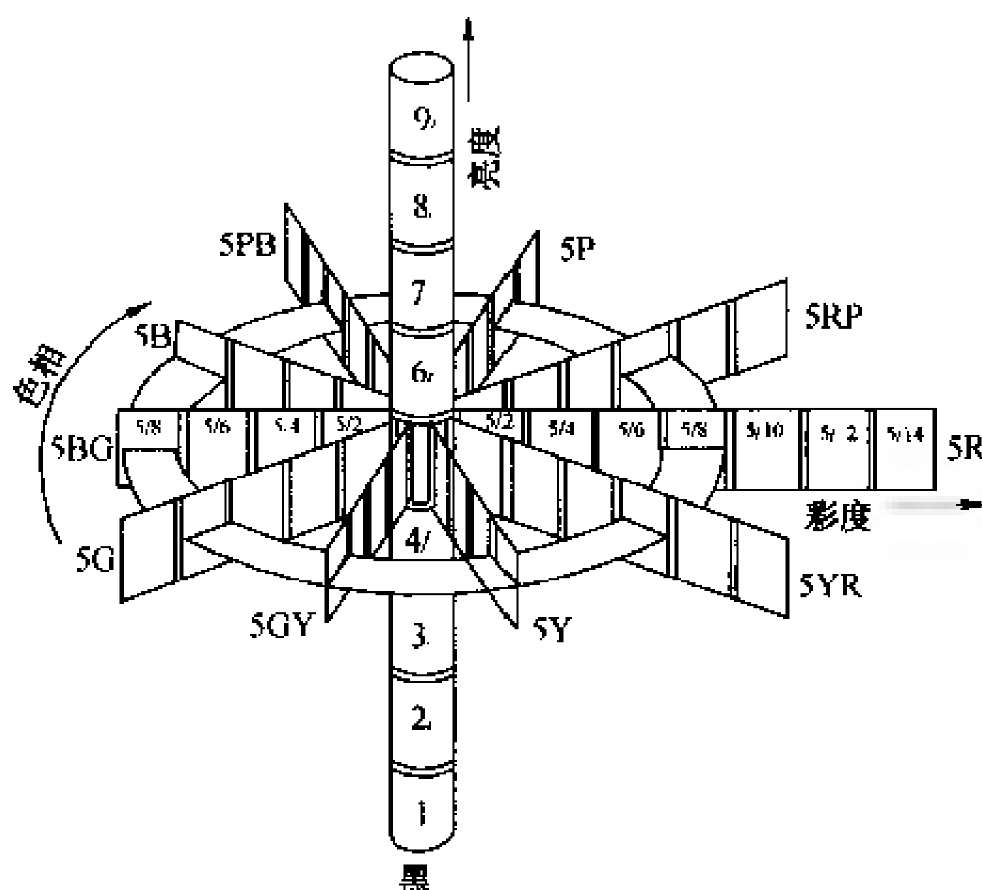


图4－22 蒙赛尔色立体

亮度和彩度的分划间隔取决于经大量测试的心理间距量表。

色立体的垂直轴分为10度表示亮度，该轴与色相盘正交于中间灰"5"位置，轴顶为10（白），轴底为0（黑）。亮度标记放在垂直轴刻度边上，并加斜线（7/、5/等）。

用色相和亮度已可以准确标志彩色的两项指标，如10BG2/表示接近蓝色的蓝绿色、其亮度较暗。

蒙赛尔色立体中的彩度指标用每一色带向亮度轴方向以2，4，…，14的分级渐变来表示，当某色接近亮度轴时，彩度就变得较弱（如6、4、2级），也更不饱和。反之14级为最饱和。彩度的标记在亮度值斜线后加数字，如/4

个完整的蒙赛尔色标记号为10BG2/4，表示一种灰暗的蓝绿色

2. 色谱和色库

色谱是建立在采用网点进行四色印刷基础上的表示系统(彩图4-6，此图上仅表示了黄(Y)、品红(M)、青(C)三色的配合)，它以减色原色及纹理变量的晕点为基础。减色原色选用黄、品红、青、黑四种油墨作为彩色印刷的基本色，在复制技术中简称四色印刷。通过对任何彩色印刷图斑的放大观察可以发现，这些图斑并不是致密的平色，而是四种基本色网点按一定规律的叠合。在地图印刷时，有时就不止只用四色印刷，如地图上有些点、线状地物本身只有0.1mm的宽度(如等高线)，若用减色原色叠印，很难保证套印精度，所以也常采用另外的一些彩色油墨专门印刷，如用棕色印刷等高线、大红色印刷道路，我们称这些油墨色为专色。当专色油墨参与色谱系统的编排时，色谱的数量超过10万个。在电子出版系统中，常配备色库供制图时调用，它可以产生几十万种有效的彩色。

4.3 彩色的感受效应

色彩在地图感受中的作用十分显著：

(1) 提高了地图传递空间信息的容量　同一种形状的符号分别使用多种颜色变量就增加了符号的数量；利用色彩也可以加深人们对相互制约事物的认识，例如用红色的不同色相、彩度符号，表示高温、火电、公路、我军阵地，蓝色的不同色相、彩度符号，表示负温、水电、渠道、敌军阵地。

(2) 用视觉次序反映地物的数量特征和动态变化　单一或两种色相的亮度渐变，给人以数量变化的感受；色彩的饱和度对比，可以表示制图对象的时间变迁，例如反映一个城市的历史变迁时，早期城址用低彩度色相，因为色相中增加灰度给人以年代久远的感觉，城区现状用中彩度色相，给人以现势感，未来规划用高彩度色相，给人以蓬勃发展的感觉。

(3) 增进地图的美感和艺术造型　色彩对地图艺术性的作用是直接的。同时，还可以在不违背地图精度的前提下，利用对视觉特性的理解，将色彩、网纹、图形结构等建立能引起美感的图形组合。图4-23说明艺术观点及色彩作用的基本特征。

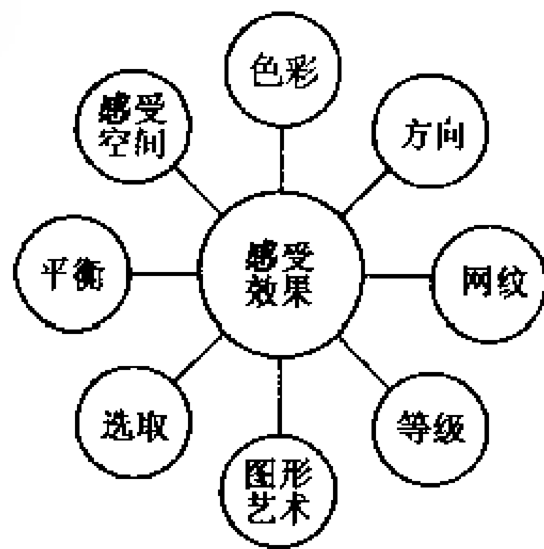


图4-23　艺术观点的特征
(引自文献1，第10页)

地图色彩的选择，有些是以生理学为基础的，人的知觉机制所起的作用构成设计图形时的限制；有些是以心理学为基础的，对色彩产生寓意的和主观的效果；有些则是色彩应用长期形成的用色习惯。

1. 前进色和后退色

把彩色区分为前进色和后退色出于生理特性。进入眼睛的光线折射与波长相反，红色物体在视网膜后聚焦，蓝色物体在视网膜前聚焦，为使红色在视网膜上聚焦，眼睛的水晶体便适应地凸起。而我们看近处物体时，水晶体也要凸起，传到人的大脑知觉，产生了暖色相的前进感和冷色相的后退感，地图上海洋部分用蓝色表示，地势部分分层设色时用暖色表示，都和色彩的感觉有关。

2 色彩的交互作用

观看彩色不仅取决于它的物理刺激，而且还因周围色彩的交互作用向对立色相转化。例如黄色在白色背景下的亮度和在灰色背景下的亮度感觉不同，这是亮度对比。红背景上的灰方块被看成是浅绿色，反之绿背景上的灰方块被看成是浅红色，这是颜色对比。

3 色彩的恒常性

当光源的光谱成分发生变化时，我们看到地图的颜色会保持不变，这种特性称为色彩的恒常性。例如强光下看到的地图和较暗光线下看到的地图，我们仍然同样辨认等高线是棕色的，公路是大红色的；一条公路在通过色相有较大差别的分层设色图上，我们的知觉仍然认为公路全线是红色的，这表明知觉中的色彩并不完全决定于色刺激的物理特性和视网膜感受器的吸收特性，它也受周围参照物，即地物的固有特性的影响。

4. 感情色彩

色彩与人的情感或情绪有着广泛的联系，不同民族的文化特点又赋予色彩以各自含意和象征。

色彩感受的心理描述可以区分为暖色和冷色，色环中的十个色相，可以分为最暖色——橙，暖色——红、黄，中性微暖色——红紫、黄绿，中性微冷色——绿、紫，冷色——青绿、青紫，最冷色——青（图4—24）。和地图的设色相配合，则浅

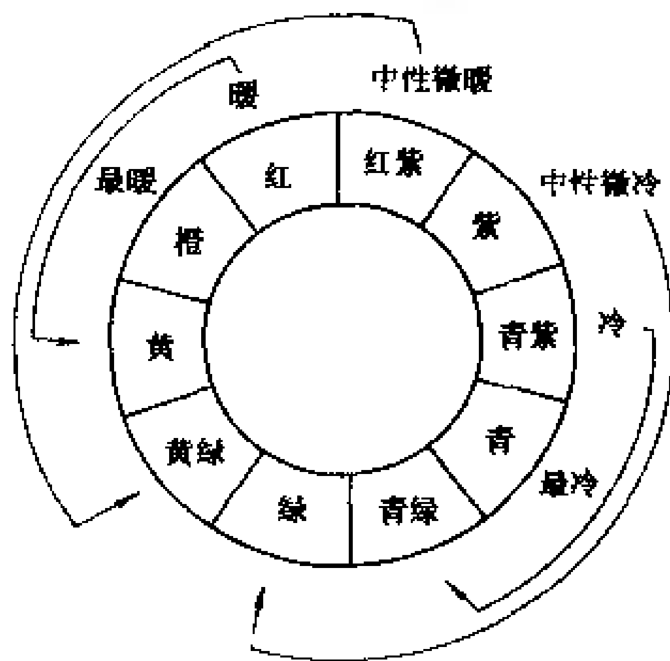


图4—24 对比色

黄色象征干燥,蓝色象征湿润。

5. 习惯用色

色彩也不是都能寓意,相当一部分地图图例的色彩选择与感情因素无关,而是按照逻辑及习惯设定彩色。如地质图的分类很复杂,红色表示岩浆岩,粉红色表示变质岩,黄色表示第三纪和第四纪等。经过长期沿用,有的形成了规范,有的也已约定俗成。

§5 符号与图形的感受效果

5.1 视觉变量的感受效果

每一种视觉变量的感受效果并不相同。对它们各自感受性的分析,有助于使每个变量能恰当地参与地图符号的设计。从功能上看,视觉变量可以概分为三类(图4-25):

感受效果 / 变量	差异感		次序感	数量感
	组合感	选择感		
尺寸	✓	✓	✓	✓
亮度	✓	✓	✓	
网纹	✓	✓	✓	
色相	✓	✓		
方向	✓	✓		
形状				

图4-25 视觉变量的感受性

一种是能获得数量感受的变量,即二维平面上的尺寸。由于数量感要求变量的可量度性,所以采用抽象的几何图形如方形、圆形、三角形作变量的形态较好,图形愈复杂,数量判别的准确性便受到影响。以图4-26为例,没有绝对差值的顺序量表不产生数量感,当图形符号可以用间距量表或比率量表确定它的尺寸时,符号的尺寸价值才被肯定。因而尺寸是产生数量感唯一的变量。

另一种是能获得次序感受的变量。亮度、网纹、尺寸变量都能产生这种次序

级别。亮度的非彩色显示是灰度尺，从白到黑可以排列出符号的顺序，彩色亮度尺和它相对应。尺寸、网纹的纹理变量、网纹的方向变量能参照亮度排序的模式，也可以产生次序感受(图4-27)。

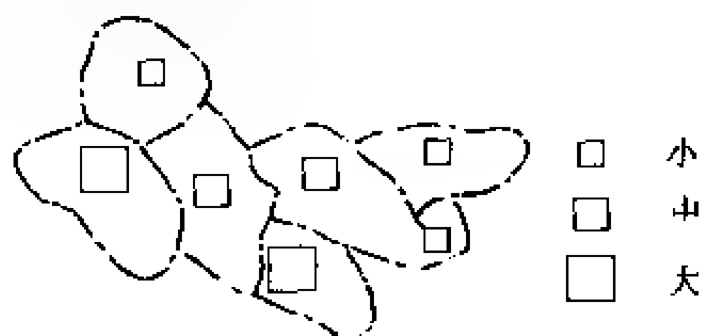


图4-26 尺寸的数量感



图4-27 网纹的次序感

但是，网纹的排列变量由许多不同形状的小符号组成，这些形状本身不具备次序感，因而它的组合形状-排列变量也不具备次序感的特性。

另几种变量产生了图形的差异感受，它们是网纹、颜色、方向和形状变量，在此图形上，尺寸和亮度变量也参与了差异性组合。

图形的差异感包括组合感受和选择感受两个方面。当我们组织所有这些变量完成一张地图任务——像语言的“造句”时，这些变量的作用是协同作业，它们服从于整体效果。以普通地图为例，河流的宽度，居民点的大小，都应用了尺寸变量；水体、林地又分别采用不同的色相，正是几种变量的参与及它们自身的差异，使图幅具有组合感受和整体性。在这里，变量原有的差异退到了次要的地位(图4-28)。

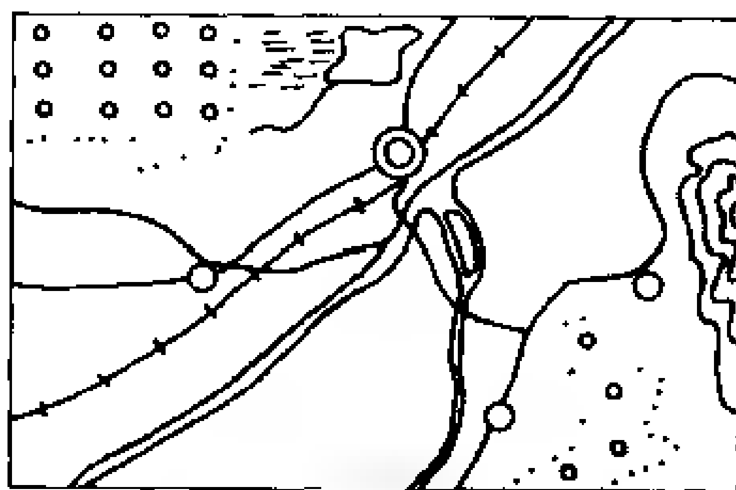


图4-28 组合感受

与组合感受并存，又有较强差异反应的是选择感受。尺寸、亮度、网纹、颜色和方向等每一种视觉变量的选择都有自己的个性。例如色相各异的专题符号，它不能够产生数量感和次序感，但它反映了空间信息的不同类别，植被图中绿色表示林地而黄色表示荒漠化草原，色相变量便产生良好的选择性感受；网纹变量用于定性制图时(图4-29)，它并不强调次序感而是类型的区分。所以选择感

受体现了地图内容的差异

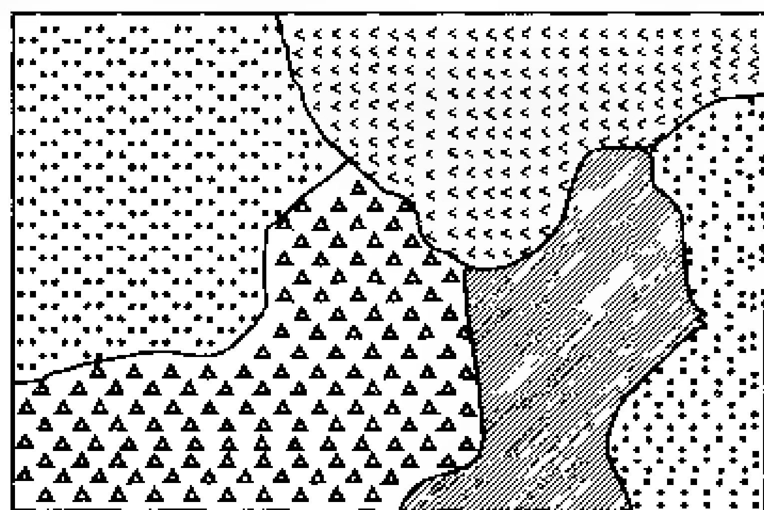


图4-29　选择感受

5.2　图形视觉的心理效应

地图上的符号和图形，虽然是由各种视觉变量所构成，但并不是把这些变量堆砌在一起就能形成一幅地图。因此，设计和编制地图首先从图形结构上考察，选择哪些变量构成的符号比较直观，哪些符号的形象传递信息更有效，哪里图形显得拥挤，哪些颜色不协调，等等。如果图形带来的知觉刺激与制图者的艺术构思相符，就能获得空间信息的有效传递。聚类感受、视觉对比、层次结构、图形与背景、视觉平衡，都是影响地图设计的视觉心理因素。

1　聚类感受

大脑被认为是一个动力系统。视知觉对刺激物积极的组织使类似或邻近的刺激有结合起来的倾向。反之，不同类别的刺激容易在视觉上疏远。

(1) 类似因素　相互类似的刺激容易组成整体。如果各部分的距离相等但视觉变量有异，那么相同的变量就自然地形成组合(图4-30a，b)。在地图中，相似的形状，尺寸或色相都构成差异性感受，在图4-30c中虽然字隔较远，但字体和尺寸一致，便容易组成整体。

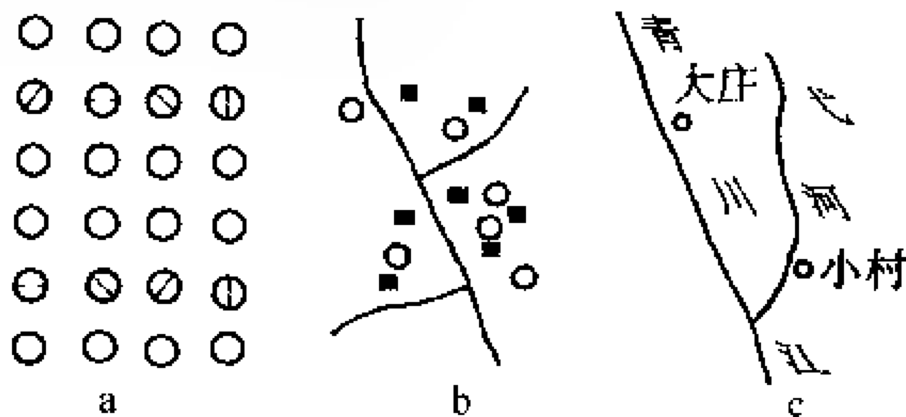


图4-30　类似因素

(2) 邻近因素　相距较短的或互相邻接的刺激物，容易组成整体，图4-31a中相距较近的直线自然地组成图形，而在图4-31b中居民地注记适当排密，就产生了与图形符号突出的整体效果。

(3) 闭合感觉　一个接近于完形但还没有闭合的图形，瞬时观察总有把它合拢的倾向。例如图4-32a，在图4-31a的上方加上两段短线就产生整体的倾向。地图上常利用主观轮廓设计符号，减轻地图线划的载负(图4-32b)。

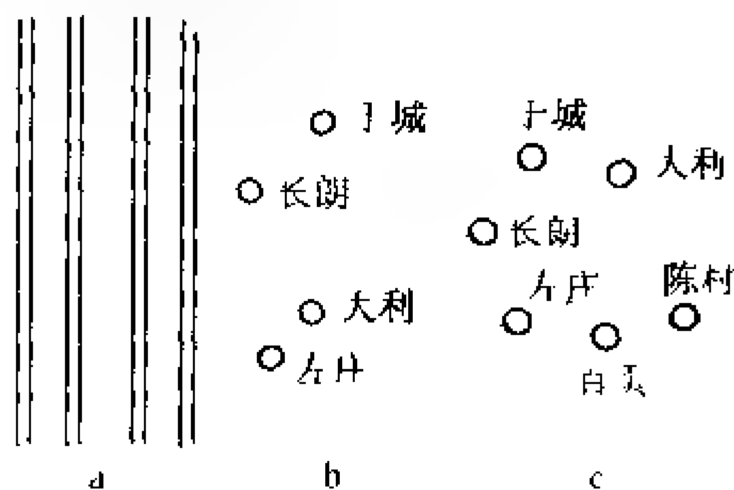


图4-31　邻近因素

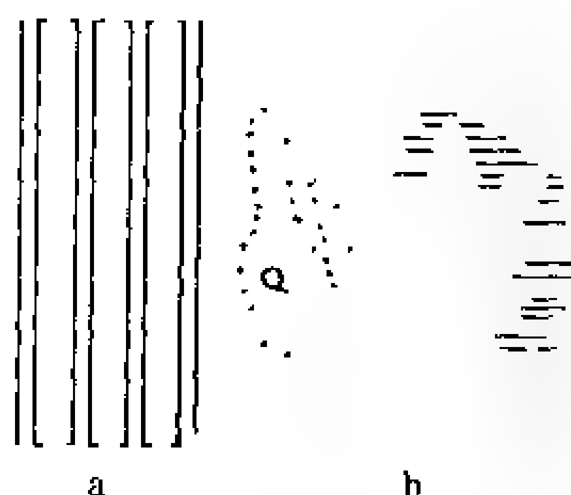


图4-32　闭合感觉

(4) 完形倾向　彼此相属的部分，容易组成整体，而不相属的部分便离开了主体。图4-33a的图形，在知觉上容易构成椭圆，即使旁边的点子离开这个椭圆环更近些。地图上一个区域的晕边正是依据完形的倾向把主要部分圈起来，以突出它的整体性(图4-33b)。

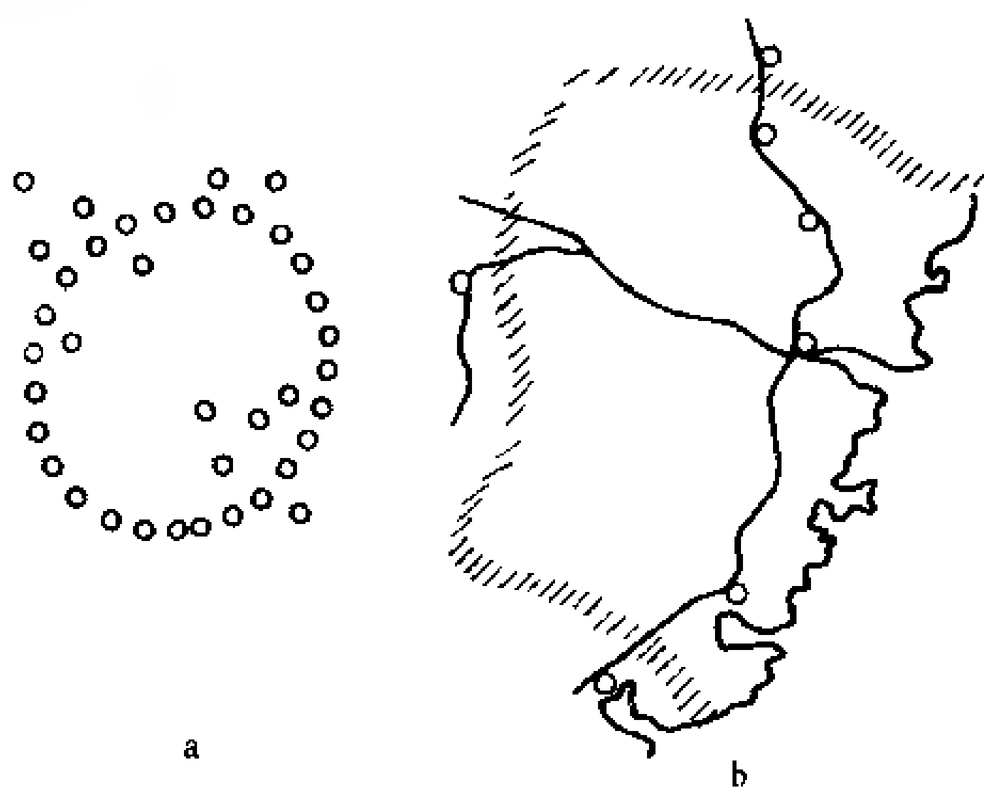


图4-33　完形倾向

2. 视觉对比

对比产生于视觉差异。空间信息传递过程中，必然区分主要部分和次要部

分 与周围没有视觉差异的图形在整体结构中很容易被忽略。地图设计者应努力造成差异以便在对比中取得协调。

(1) 线划对比 线划的类型和宽度构成一张地图的网络，产生丰富的信息心理上，线宽和类型的对比增加了视觉的刺激。境界线、道路系统、水系和其他向量线若都是千篇一律的一条细线，不能成为可阅读的地图(图4－34a)。若有多种线划类型和线宽，便能帮助读者解释空间信息的种类、重要性(道路)、流向(河流)和行政意义等。通常，线宽之差大于0.1mm时才可为读者区别并产生对比。每一种地理要素的线划类型要成为一种图形系列(图4－34b)才能完整地表达空间信息。

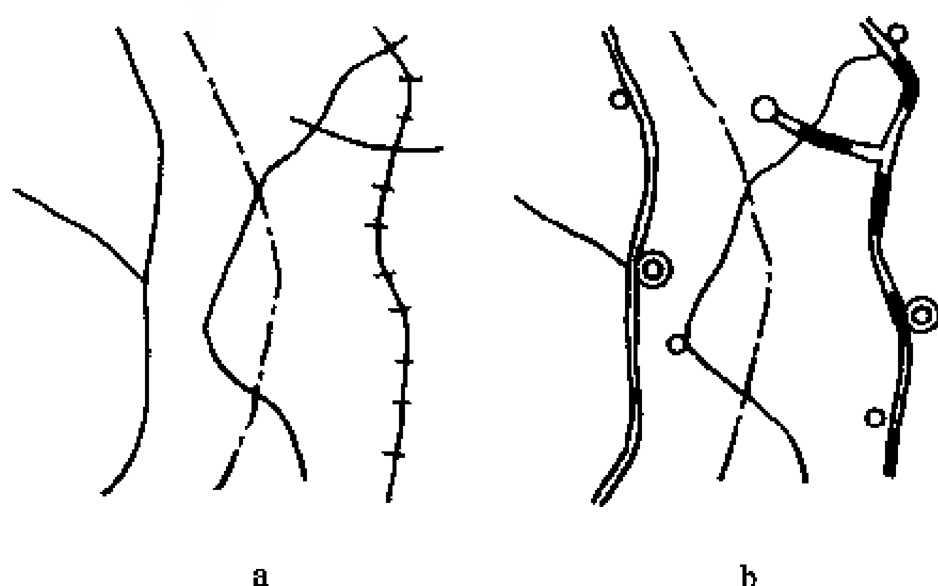


图4－34 图形系列

(2) 色彩对比 色彩对比小的图形呆板单调，不能引起注意。由于波长不同，色相对比在视觉中出现不同层次，产生地图结构的差异。但引起对比的同时，色相的运用只需获得整体性的组合感受而不要求过分差异。由亮度的反差造成地图上的亮区和暗区可以突出主题，例如在水域用蓝色普染，使陆地部分明亮；主题以外的图形普染浅灰色也可以显现主题的地位。

有时亮度对比过大，阅读地图时会产生跳跃感，就应适当减小亮度的对比。在行政地图或类型图设色时，常要求图面有均匀的亮度和彩度。经过测定，黄色的亮度值为9，而紫色的亮度值为3，黄色比紫色强三倍，为达到色彩的协调，普染大面积宜用黄色，而普染小面积宜用紫色。

冷暖色对比和互补色对比对一些图种非常有用，例如表示气候中的温度、锋面都采用冷暖对比色，在经济地图上，互补色增强了经济现象相互制约的心理感觉。

(3) 网纹对比 因为网纹多数用于面状符号，它的对比程度通常由选择的定性制图或定量制图的性质所决定。定性制图时，例如编制植被图，由于分类很多，网纹常用于次级分类，若草原植被用浅绿色作为一级分类，则在二级分类的

草甸草原、干草原、荒漠化草原的浅绿色图例上叠加不同的网纹，使各类草原在视觉上的差异得以体现。网纹的排列变量之间的差异性较大，对比明显，产生选择性感受(图4-35)。

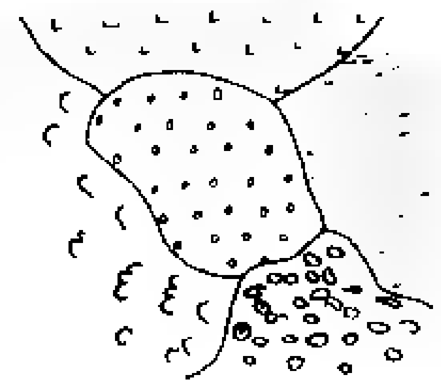


图4-35 排列网纹的选择感受

3. 层次结构

大多数空间信息的传输，包含着复杂的关系，图形便需要进行层次分析，以便将地图资料清晰化和专题资料系统化，使重要性不同的地图内容层次结构分明。

(1) 延伸网络 主要反映线状符号的网络关系，例如河流系统的主流和支流关系，黄河作为主流，则渭河是支流，渭河是主流则泾河是支流，泾河是主流则马莲河是支流，马莲河是主流则环江是支流，形成百川汇入大海的网络，全国的道路系统也是如此。

延伸网络通常是顺序性的，但对线路的等级进行量化，以显示空间信息的相对重要性。

(2) 层次网络 多用于表示主题的分类系统。由于分类按上下级的关系组成网络，因此每项类别和特征都在网络中处于固定位置，一个类别的意义内涵要由该类别与其他类别和特征的关系来决定，例如上文提到的植被分类和由此造成的层次结构(图4-36)。同一层次水平的类别采用色相或网纹对比，在视觉上具同等分量。

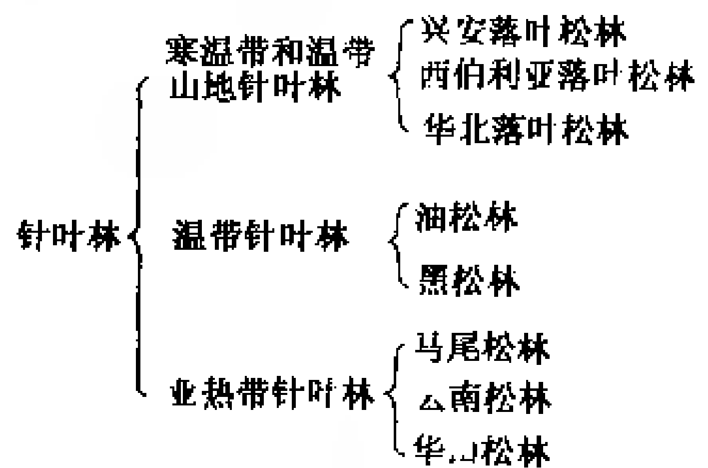


图4-36 层次结构

(3) 立体层次 和层次网络正好相反，它要求被表示的成分处于不同的视觉平面上。例如图4-37a，所有线状符号几乎处于一个视线水平，很难使目光聚焦在主题上。而图4-37b将水体进行网纹处理，陆地便成为目光的第二层面，而行政界线是高于陆地的又一个层面。

立体层次可表现为单个符号的叠加和晕线处理，如图4-38a是一个道路立交图形，4-38b图是比较密集的统计符号，它们都反映了图形的深度感受。

(4) 激活扩散 20世纪70年代提出的激活扩散模型放弃了分类系统的层次结构，而以语义联系或语义相似性将概念组织起来。计算机中文打字的联想输入法就是一个实例。这种模型在地图上的应用如图4-39所示：当一个系统被加工或受到刺激，在该系统的结点上就出现激活，然后沿结点的各连线，系统向四周扩散。

对于一般的地图，用层次网络模型编制图例系统是最常见的。但是像文化

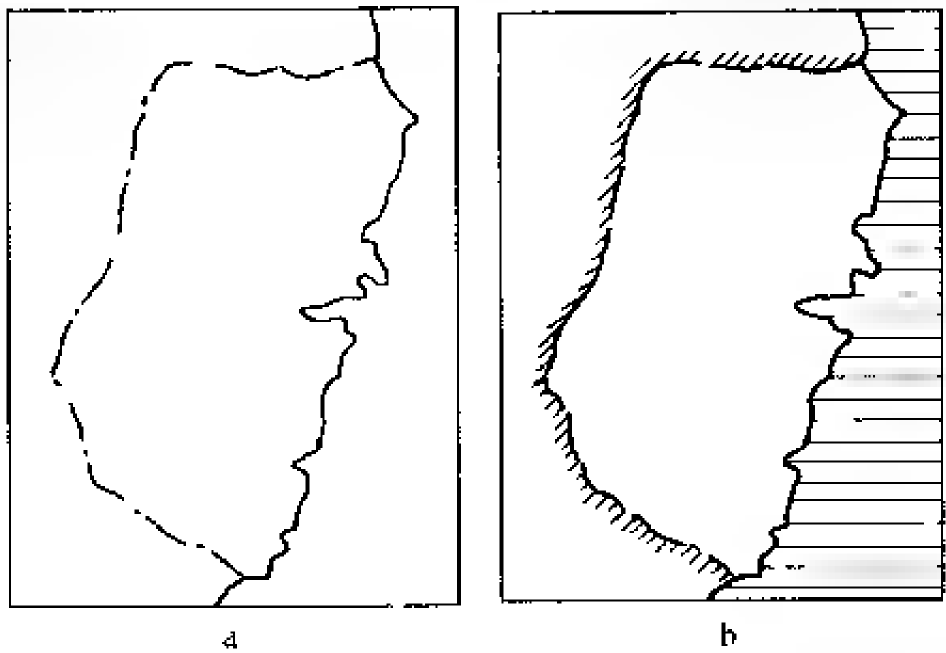


图 4-37 立体层次与立体符号

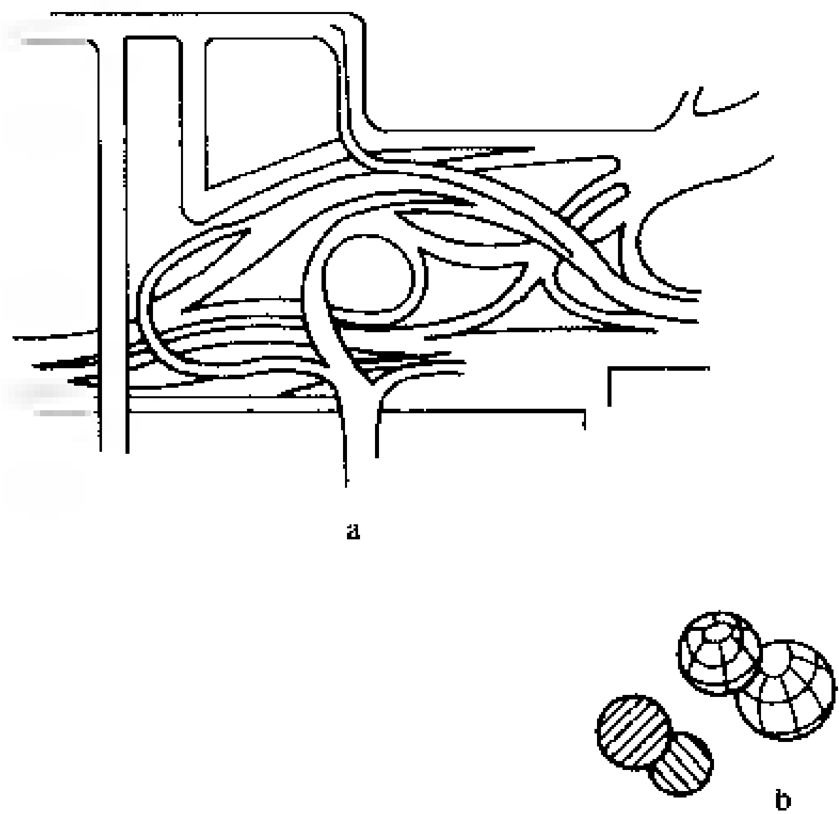


图 4-38 深度感受

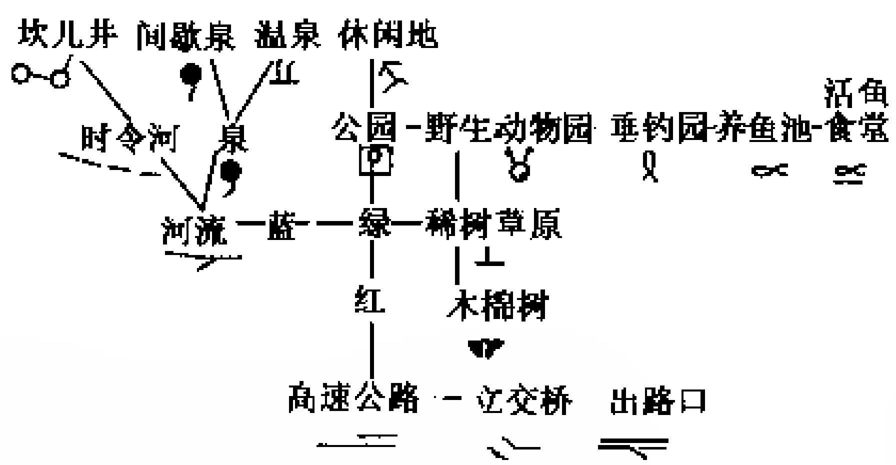


图 4-39 联想式图例——激活扩散模型

景观地图(含旅游规划图和旅游交通图)或军事地图,如能创意出激活扩散模型的图例系统——联想图例系统,成为认知制图学的一项技术方法,将会收到更好的设计与读图效果

4. 图形与背景

我们观察到的物体,在视知觉中构成的形,是经过知觉场组织形成的整体印象,有些对象突现出来构成图形,有些对象退居到衬托地位而形成背景,例如我们在绿色密布的叶丛中愈能看到鲜艳的花 一般来说,图形是具有一定界线、组织比较严密的,背景则是没有界线的同一性空间。

在心理感受上,图形与背景的构成有如下特征:

(1) 明暗差异产生图形 视觉的特点就是注意力集中在差别上,当其他的图形亮度一致时,较暗部分成为图形,而在图4-40上由于海水部分较暗,则较亮的陆地成为图形

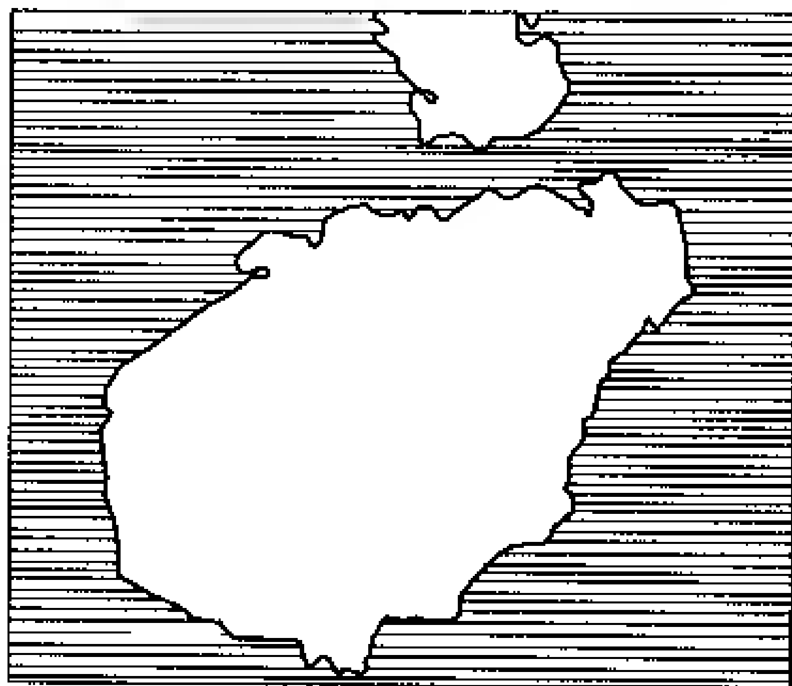


图4-40 明暗差异

(2) 良好的边界产生图形 边界起两种视觉作用,一是使图形造成闭合,自然形成一个整体;二是产生差异,也区分为一个整体。图4-41中的海洋部分有经纬线而陆地部分没有绘出经纬线,这种差异使陆地成为图形。

(3) 清晰的区域产生图形 主题部分的地图,经过较精心的设计和绘制,与周边图形产生差异,这种差异便为知觉场发现,产生图形与背景的差别。

(4) 熟悉产生图形 人类对事物的认知过程中,对信息产生"自寻址记忆",即信息是通过自动寻找信息库中地址而被提取的,若已知的图形已存储在记忆中,便能对比生疏的图形产生差异,在知觉场中使熟悉的图形突出。相反地,若要使未曾记忆的区域成为图形,就需要组织较多的记忆因素。

(5) 较小区域容易成为图形 较小区域与较大区域并列时,往往是小区域

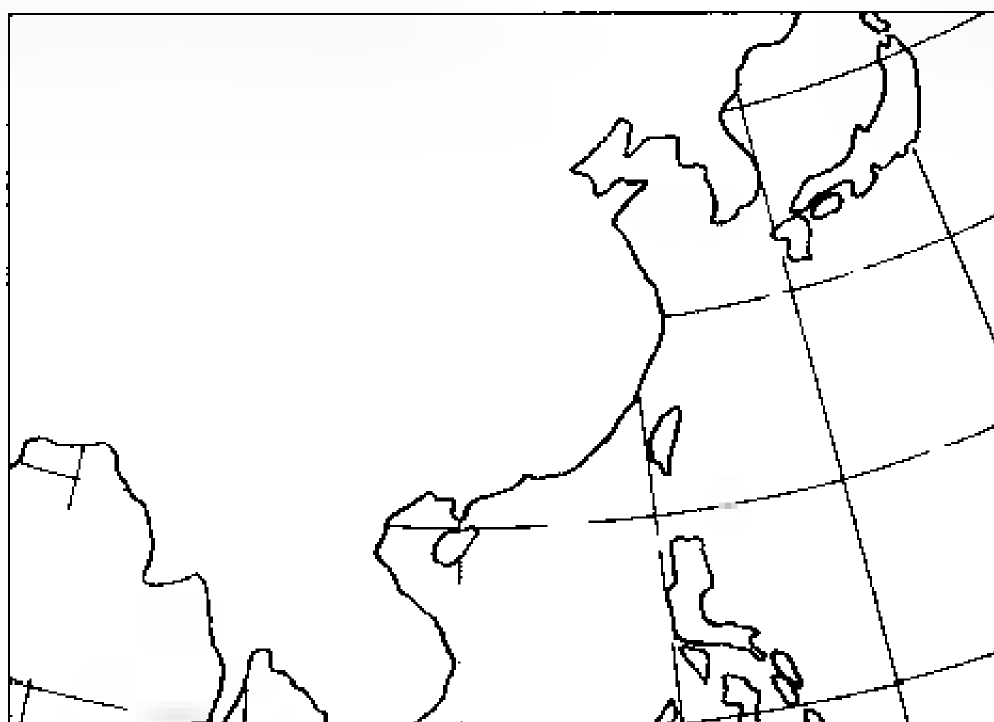


图4 41 良好边界

作为图形首先出现 此研究表明,就专题地图而言,当背景比图形小于2 2倍或大于3.6倍,背景、图形容易混淆。

5. 视觉平衡

平衡是一种均衡的状态。从知觉的感受而言,一个图廓的对角线交点是几何中心而不是视觉中心,达到均衡的视觉中心应该在高出几何中心5%的视点上(图4 42)。从视觉生理分析,只有当景象的刺激使大脑视皮层中生理力场的分布达到相互抵消的状态时,或者说,一旦到了任意更动一个变量或符号,图形便导致失调的状态时,就达到了令人满意的平衡了。

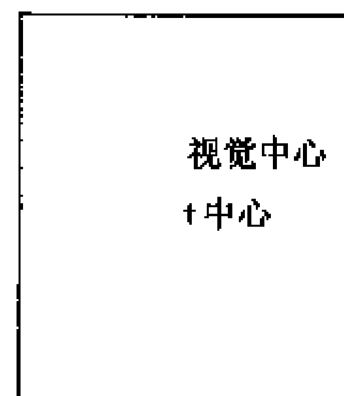


图4-42 视点中心

美国阿恩海姆提出视觉平衡是由两个主导因素造成的:重力和方向。在地图图廓内,图形是根据它所在绝对位置、尺寸、形状决定重力,图形的相关位置、内容、形状决定方向。例如,图形规则的、紧凑的看上去比不规则的、不紧凑的重(图4-43),图形重力的增加与它离开中心的距离成正比;孤立的图形又比有多种要素组织的图形重(图4 44)。而图形形状的产生则来自两个反方向力的轴(图4-45)。

要使图形产生平衡,我们还要做到:

(1) 把主题部分放在视觉中心(图4 46)。

(2) 调整图形格局。

古希腊对建筑构形创造了黄金分割法,纸张的尺寸分全开、对开、四开,就采用了黄金分割,成为标准的矩形图廓 当多个图形在 个图廓内组合时,图形的

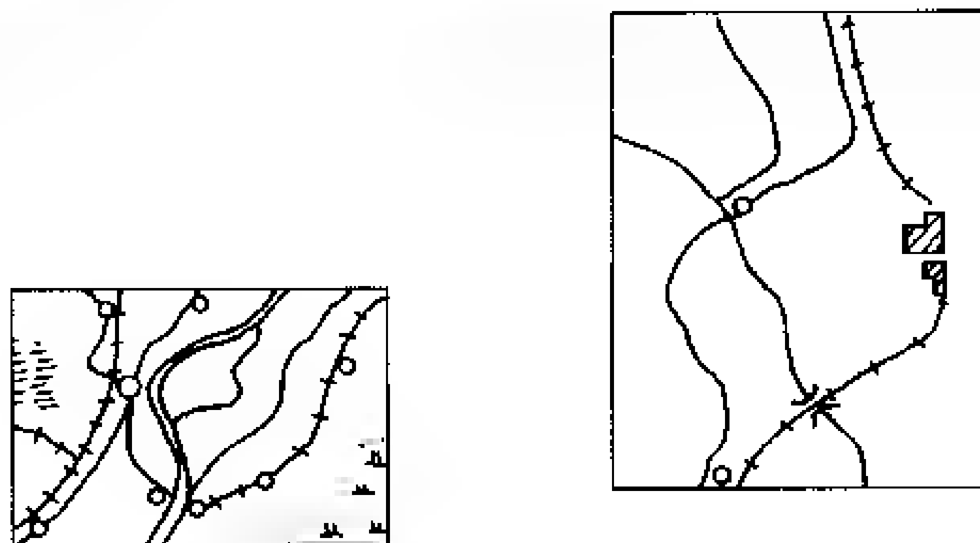


图4 43　紧凑图形比松散图形重

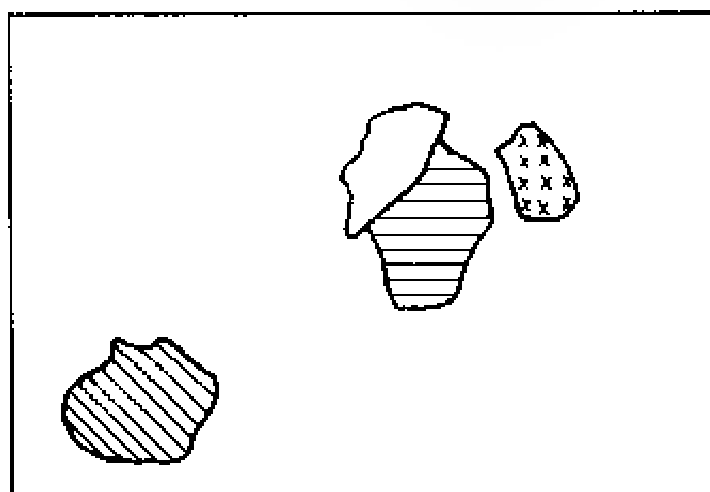


图4-44　孤立图形比多种要素图形重

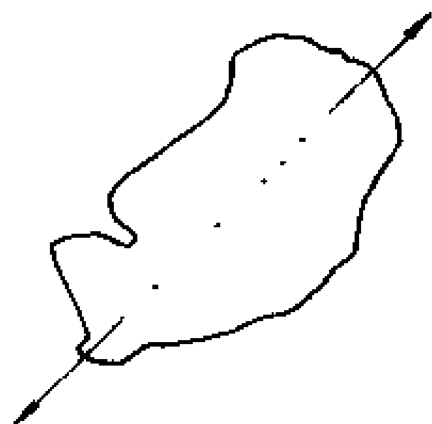


图4-45　方向轴

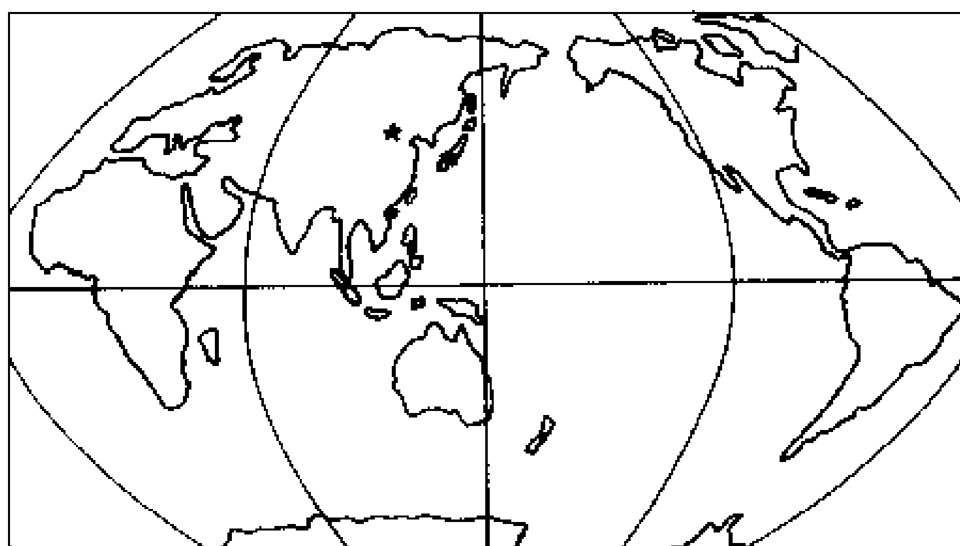


图4 46　视点集中

布局牵涉到空间的分割,研究各个图形的配置而不是单纯地将它排列成行,则组合图形的布局会达到新的平衡。

最重要的一点是:不要抛开图形或图组的内容去单纯追求平衡,当平衡显示某种意义时,它的功能才算发挥出来。

5.3　视觉分辨的限度

地图设计得再好，如果在不同环境下地图符号看不清楚，地图信息传递功能就要受到影响。眼睛辨别符号的能力受视觉的能见敏锐度和分辨敏锐度的影响。

能见敏锐度不以图形的大小衡量，它是衡量大脑图像的视角阈限而不是图形尺寸。物体再小，只要有足够亮度对比就能看见。这种觉察能力的测量方法是：在白色背景上逐渐减小一条黑线的宽度，直到刚好看到黑线为止。用这个宽度对眼睛形成的张角（分或秒）做为最小的可见阈限。因此，在25cm距离上看到0.075mm宽度的黑线，和10m距离上看到3mm宽度的黑线，其张角同为1′。

分辨敏锐度是能够辨别出视野中空间距离最小的两个视点的能力，又称分辨率或解像力。经测定，能分辨白纸上两个黑点的最小距离为0.075mm（相当于眼睛张角1′）。因此，在制图上我们把分辨率定为0.1mm，限差定为0.2mm。

分辨敏锐度的阈限（α）的倒数（$1/\alpha$）称为视锐度，即医学上所称的视力，当阈限为1′时，视力为1。多数人眼睛的阈值达30″，则视力为2。表4-4给出了正常视力下的分辨力。

表4-4　正常视力的分辨力　　单位：mm

种类 / 可辨尺寸 / 视距	点的直径	单线宽	双线间的空白宽	虚线间的空白宽	段子边长
250	0.17	0.05	0.10	0.12	1.75
500	0.30	0.13	0.20	0.25	2.50
1 000	0.70	0.20	0.40	0.50	3.50

地图绘制过程中，要根据眼睛的敏锐度制定绘图限度，它随着成图作业的方法及制印各环节的不同而有变化。

§6　注　　记

6.1　地名及其在地图中的意义

地图注记中名称注记的主要种类是地名，地名首先借助于语言，用文字进行记录。而语言和文字都有一定的含义，所以地名具有音、形、义三要素。地名表

示正确与否，直接影响地图的使用。

地名混乱和错误标注，曾给政治、军事、外交、测绘、邮电、交通、统计等工作带来不便。为此，1960年联合国成立了地名专家组，负责指导地名标准化工作。1975年，我国参加了联合国地名机构。1977年在联合国第三届地名标准化会议上，通过了我国提出"采用汉语拼音作为中国地名罗马字母拼写法的国际标准"的提案。同年，我国成立中国地名委员会，各省、市、县也都设置了相应的地名审核机构。

为了克服地名混乱现象，根据1979年第一次全国地名工作会议的要求，在全国范围内开展了以县为单位的地名普查工作，对地名的标准称谓、位置、地名来历、含义、历史沿革，以及地名与社会、经济、文化和地理环境的关系进行了彻底的调查。调查中将历史遗留下来有损于我国领土主权的地名、妨碍民族团结的地名、违背国家政策的地名，对有地无名、有名无地、重名，对少数民族地区地名音译不准现象逐一进行改正，确定一个居民地只有单一的书写形式和汉语拼音名称，以实现地名标准化和规范化。各地在20世纪80年代陆续编辑了本地的地名志、地名录和地名图。所有这些，都为在地图上选用正确地名提供了可靠的依据。因此，地名书写应遵守地名志颁布的名称或地形图上的地名标注，这是一个严肃的制图过程。

在编辑汉文版的外国地图时，需要按一定规则用汉字译写外国地名。地名的称谓关系着领土主权和民族尊严。原名的确定，原则上应以各主权国官方最新地图的地名写法为准，并注意反映我国的外交立场。没有该国官方地图时，则采用国际通用的某种文版地图为依据。

当外国地名出现一地多名或翻译上的分歧，要按以下原则处理：

(1) 本国官方名称以外另有国际通名，可括注国际通用名的译名，如摩洛哥的Darel Beida，国际上另有通用名Casablanca，可译为"达尔贝达"(卡萨布兰卡)。

(2) 跨国度的山脉、河流等，分别按所在国的名称译写，但读音接近的，可用一个统一的汉字译名，如欧洲的奥得河。

(3) 有争议的地域而双方有不同名称时，按我国外交政策处理，只译一个或两个全译，如阿根廷与英国有争议的"玛尔维纳斯群岛(福克兰群岛)"。

(4) 我国与邻国共有的地点，以我国称谓为准，必要时可括注邻国名称的译名。如"珠穆朗玛峰"可括注尼泊尔的名称"萨加玛塔峰"。

(5) 朝鲜、日本、越南和东南亚各国，凡过去或现在使用汉字书写的，一般应沿用，没有汉字书写过的才用该国拼音的汉译。

中国地名委员会已经颁布了各国相当数量的标准译名资料。查不到的，或尚未制订译音规则和译音表的，则应取得中国地名委员会的同意由编图者制定译写方案，送审后执行。

6.2 注记的作用与功能

地图注记是地图的基本内容之一。如同地图上其他符号一样,注记也是一种符号,在许多情况下起定位的作用,是将地图信息在制图者与用图者之间进行传递的重要方式。例如根据注记的位置和结构,可以指示点位,根据注记的间隔和排列走向,指示对象的范围。

地图上的注记可以区分为名称注记、说明注记、数字注记及图幅注记。

系统地利用注记的字体(形状)、尺寸、色相,地图注记便成为空间信息归类的手段。例如在普通地图上,通常黑色表示人文地物,蓝色表示水文地物,棕色表示地貌,绿色表示植被。注记的尺寸反映地物的重要程度,注记的字体则反映地物的级别,例如居民地按行政意义分级时,等线体、宋体、仿宋体、细线体分别注记省会、市、县、镇和乡的驻地。所以注记在地图上的出现和排列的好坏影响空间信息的表达及地图的阅读。注记既是地图上的功能符号,也参与地图的艺术设计。

6.3 注记的定位

慎重地进行注记定位能够加强地图的视觉平衡。对点状符号,一般的地名注记应该密排(无字隔),在小比例尺地图上如果绘出经纬网则地名注记应与纬线平行。陆地、港口和海域的注记,应分别配置在岸线两侧,不要跨岸线排列。同样,城镇注记也不能跨河流排列。

对线状符号,注记的配置应在线段的一侧,其排列方向如图4-47所示。

面状符号配置注记时,只要空间有足够的位置,注记应全部放置在它的面积内,将字句拉开,并距面积边缘有一小段距离。名称注记排字时必须顺着标注面积

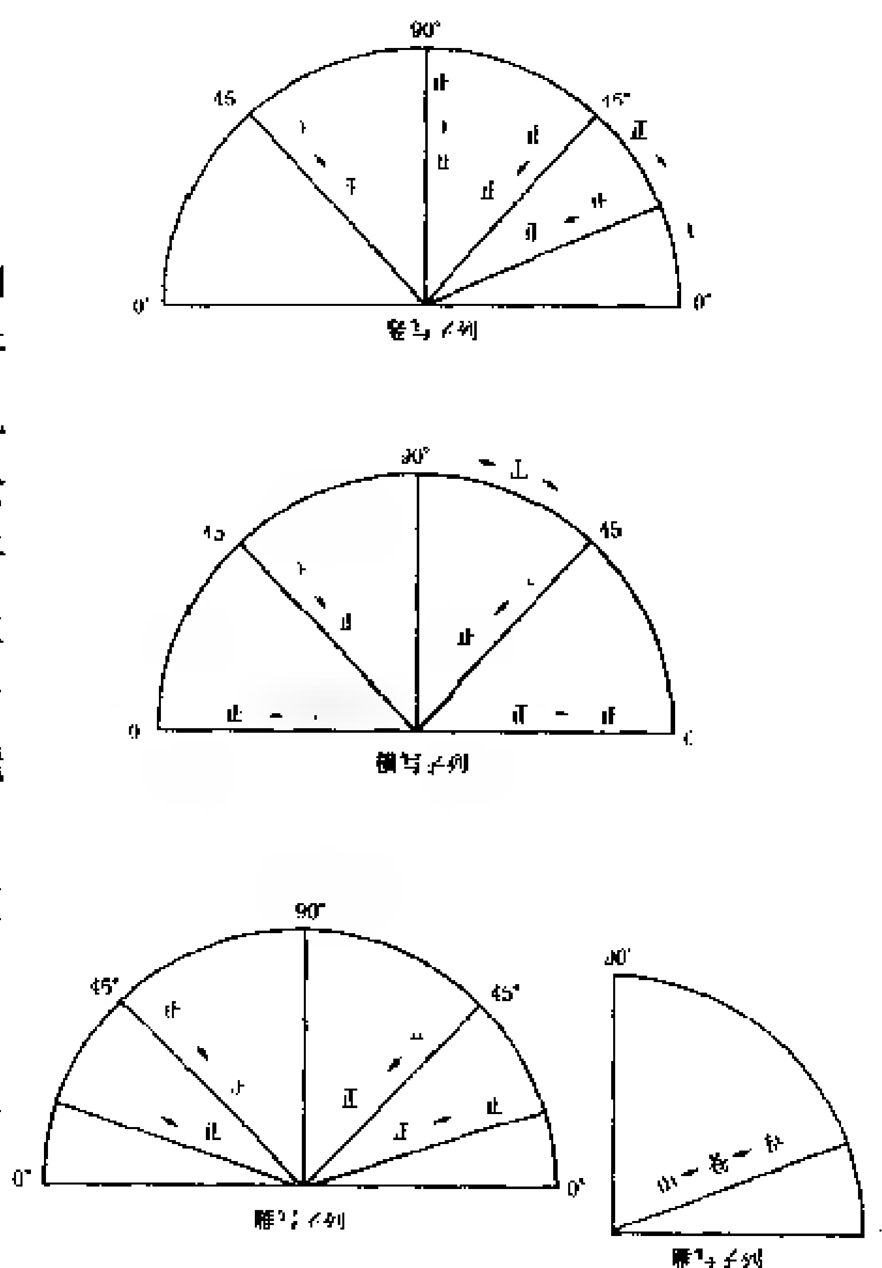


图4-47 线状符号的注记排列方向

的形状正向编排，不能上下翻倒。

作为地图的名称，图名注记的位置和尺寸应达到图面平衡。图名在本图幅中的字体应该最大，副标题则小一些，在任何情况下，保持同一词组的字隔相等图例注记的尺寸也应服从地图的总体布局，以达到最佳的地图设计效果。

本章提要

符号是一种物质的对象、属性或过程，用它来表示抽象的概念，而这种表示是以约定的关系为基础的。

符号学的理论原则可以应用到地图学领域。地图符号的研究与应用，属于部门符号学范畴。

对地图符号的形成和发展，在心理过程中起指导作用的，是格式塔原则和认知过程。

地图被认为是空间信息的符号模型，符号具有地图语言的功能。

符号的主要分类是：点状符号、线状符号、面状符号。

描述空间的数量特征主要是：定名量表、顺序量表、间距量表、比率量表。

符号的基本要素是视觉变量，它已为多数学者所论证。主要是：形状、尺寸、方向、彩色和网纹。视觉变量能组合成大部分的地图符号。

格式塔原则为我们对视知觉的认识奠定基础，它影响着视觉变量的感受效果。

地图设计应充分考虑能见敏锐度和分辨敏锐度，以提高地图信息的传递功能。

注记是符号的组成部分，地名书写是一项严肃的工作。

复习思考题

1. 怎样理解地图符号的实质，你能对语言和地图符号作一比较吗？

2. 作图说明表示面状分布和点状分布符号的转化条件。

3. 间距量表和比率量表很接近，请你分析它们的异同。

4. 复习几种变量的特征，自己设计两个多种视觉变量组合的符号（包括彩色变化）。

5. 从三原色、三间色的彩图版上分析加色法和减色法的基本特征。

6. 给出一张16×23cm的图廓和一张浙江省1:400万轮廓图，请按照视觉感受诸原则，进行浙江省图幅位置的设计。

7. 图形视觉的心理效应中会产生错觉，你能举出一些例子吗？

8. 如何运用注记来说明地物的类别、意义和重要程度。

参考文献

1 A H 罗宾逊.地图学原理 第五版.北京:测绘出版社,1989
2 K A 萨里谢夫 地图制图学概论.北京:测绘出版社,1982
3 B D Dent.专题地图设计原理.北京:解放军出版社,1990
4 F D 绪索尔.语言学教程 北京:商务印书馆,1964
5 王更生等.认知心理学.北京:北京大学出版社,1992
6 R.阿恩海姆.艺术与视知觉.北京:中国社科出版社,1984
7 陆权、喻沧主编.地图制图参考手册.北京:测绘出版社,1988
8 荆其诚等.色度学.北京:科学出版社,1979
9 毛赞猷.地图感受论中的格式塔原则.地图,第15期,1989
10 A H Robinson et al. Elements of Cartography 6th ed. John Wiley & Sons Inc, 1995

第 5 章

地图表示

由地图符号组合成的地图虽然有千差万别的形式，但它所表示的地理信息，无非是空间数据在性质上或量度上的差异。

地图学者多年来都在探讨将地图的符号组合为若干个地图符号模型。例如，1972 年瑞士英霍夫(E. Imhof)根据空间数据的图形结构组成 12 种符号模型(图 5-1)。1976 年苏联萨里谢夫也曾将地图的符号模型列为 10 种表示方法[②]。它们基本上都是依形态分类，系统性不显著。

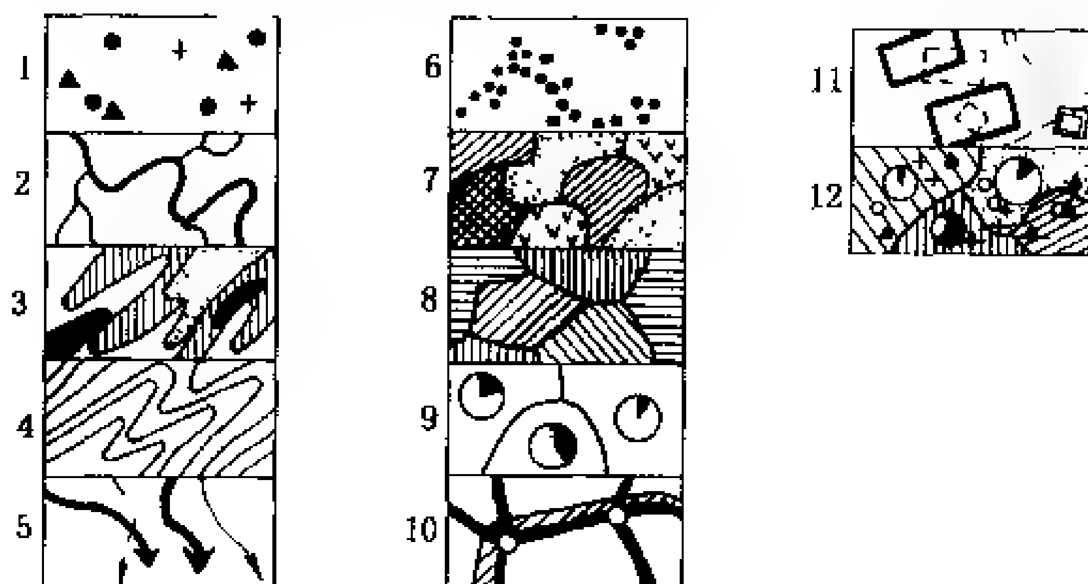


图 5-1 Imhof 的图形结构

地图符号模型以点、线、面的几何分类能兼顾定性的、定量的数据处理，例如定性数据制图在资源调查中有广泛的应用，它可以分别归纳到点、线、面符号模型中；等值线是离散数据构成连续统计面的有效方法，它可以纳入线状符号模型中。对这些传统的符号模式用有序的几何分类，较过去习惯使用的形态分类，能使地图的表示方法更为系统化。

① 在英霍夫的《专题地图学》一书中，将图形结构分成 类 、各要素表示法结构：1 点状符号或定位地图，2 线状要素网，3 类型或类型网纹，4 连续要素，5 运动要素， 统计数据表示法结构 6 点值符号的散布，7 密度镶嵌，8 其他统计镶嵌，9 定位面积表，10 动线统计图表， 复杂结构：11 时间或空间的重叠，12 联合

② K A 萨里谢夫在《地图学概论》中将地图表示法分类为：个体符号法、线状符号法、底色法、定位图表法、点描法、范围法、运动符号法、分区统计图表法和分级统计图法

§1 地理数据的点状表示

1.1 量表法在点状符号中的应用

定名量表、顺序量表和间距/比率量表在定位的点状符号中，具有不同作用。

1. 定名量表的应用

定名量表可以用于形象的、几何的和组合的点状符号中(图5-2)。



图5-2 点状符号的定名量表

形象符号最大的优点是能快捷地传递地图信息，它可以不借助图例就能使读者了解符号的含义。在主题或详细程度不同的地图上，相同的形象符号可以有不同的含义(图5-3)。

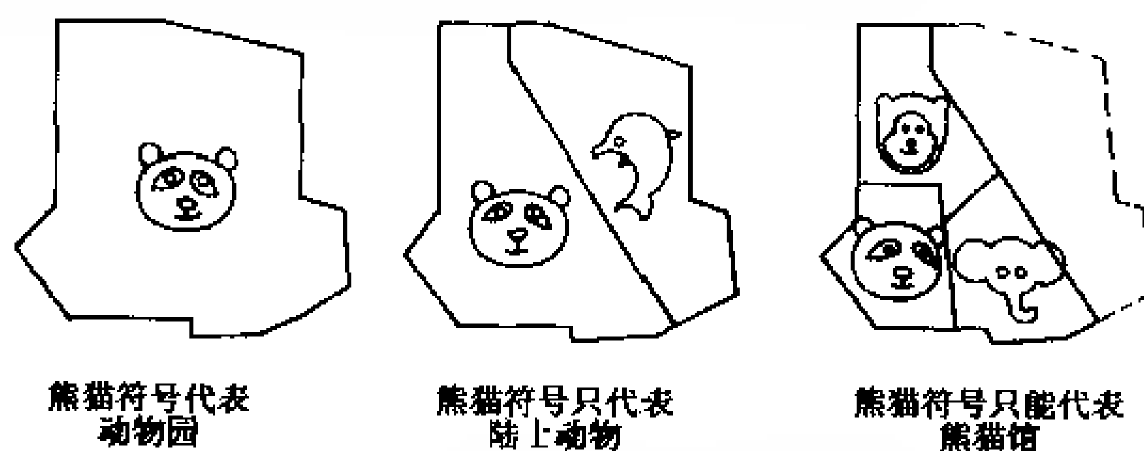


图5-3 相同形象符号的不同含义

表示形象符号的主要变量是形状和色相，虽然所代表的实物大小会相差很多倍，但绘制成符号后，作为一组图例的尺寸变量不能有很大的差别(图5-4)。

几何符号基本上不与数据的属性相关联。常用的几何符号可以用形状、色相、网纹等变量进行表示：表示一种地图信息(如金矿)时，既可以用三角形、也可

以用圆形;色相变量可以用金黄色、大红色;网纹可填充于几何符号的图形内,这时符号尺寸不能太小,否则过细的网纹难以区分不同的符号,并造成制印及读图的困难

对于单纯用文字当作定名符号,尚有不同看法,例如将"金"字放在金矿的位置上。既然语言是符号学的样板,就不能绝对地说文字不可以表示为地图符号,所以"金"字也是一种符号;但在地图编制中,符号是一种图形,文字是它的注记。如果用"△"符号表示矿山,"△金"代表金矿、"△铜"代表铜矿,这才是地图长期以来采用的图式,所以单纯用文字形成的符号不能算为严格意义上的形象符号。

组合符号主要是指形状变量的叠加,这种符号有利于形成地物类别的系列化(见图4-17d)。

2. 顺序量表的应用

顺序量表的点状符号用于表示地图信息的强度。

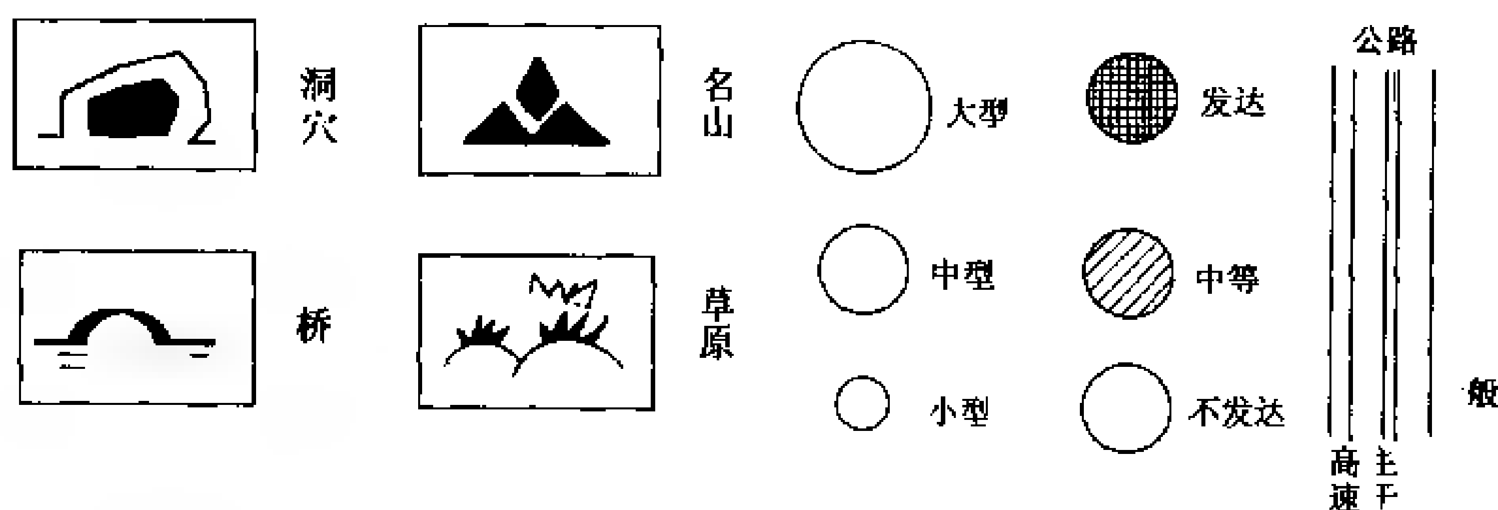


图5-4 一组形象符号,代表的实物尺寸差别很大
(引自《中国旅游资源普查规范》中国旅游出版社,1993)

图5-5 单个符号的顺序量表

顺序量表是从具有可比变化的数据,简单地转化为多与少的关系。不必考虑大与中或中与小在数值上的比例或绝对值。所以通常只取三项顺序。

表达顺序可以采用尺寸变量,配合亮度、彩度或网纹变量,构成对象的强度变化(图5-5)。如采用尺寸变量,毫无疑问会用大尺寸表示强度大,小尺寸表示强度小。但是尺寸变量的"尺寸"以多大为宜,在顺序量表中只有一个"适度"的含义而不提出尺寸的比率。采用亮度和彩度表示顺序量表时,赋予它的强度性质不如尺寸明确,亮度为10(黑色)或彩度为0(暗灰)很难说明是强度大还是小。因此,除了尺寸变量有明确的顺序关系外,用尺寸变量加上亮度或彩度变量来表示强度是可取的方案(图5-6)。网纹的作用也一样,疏密网纹能形成强度的对比(图5-7)。

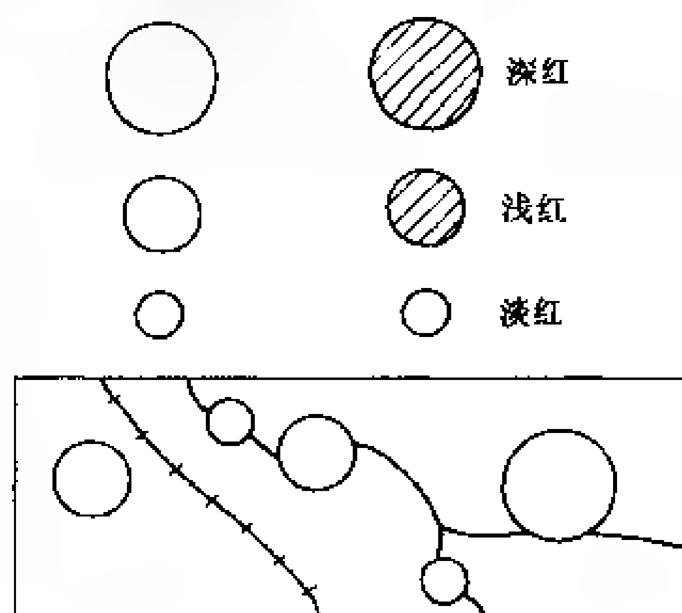


图5-6 顺序量表的尺寸+亮度变化

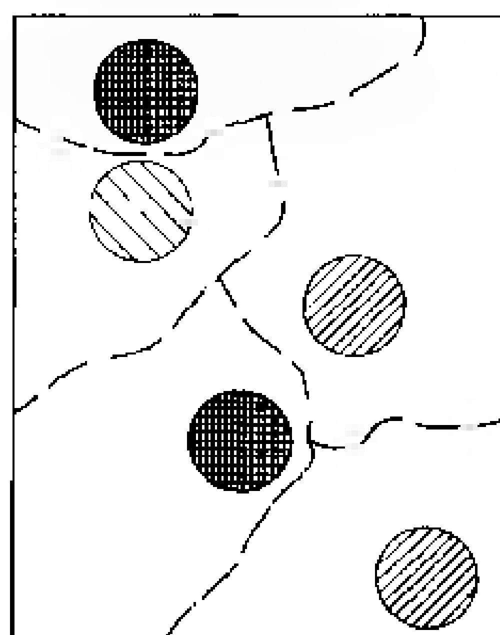


图5-7 网纹产生的顺序变化

3 间距/比率量表的应用

间距/比率量表能显示点状符号中地图数据的数量差别。如上所述，顺序量表和间距/比率量表的不同，仅在于前者隐藏了数据的数量而只显示数据的强度，那么表示数据的数量时，最有效的视觉变量还是图形的尺寸。我们也可以用亮度或网纹来显示数量。但测定亮度或网纹的绝对值有一些技术上的困难。从视觉效果上分析，当然以不同几何图形的尺寸来确定比率的值效果会更好些。

1.2 比例圆的视觉尺度

点状符号可以选用圆形、三角形、正方形或其他多边形表示，但比例圆是点状符号在数量对比上最常采用的几何符号。理由是：①在视觉感受上圆形最稳定；②圆面积由 πr^2 组成，和正方形 d^2 一样只有一个变量；③在相同面积的各种形状中，圆形所占图上的视觉空间最小；④圆形常用于心理测验。

在此，我们来分析一组数据（表5-1），并用按面积比例的大小圆构成这组数据的比例圆图形（图5-8）。

表5-1 环山县各乡的玉米产量的量度（每亩的面积定为0.1mm²）

乡名	亩数	比例圆半径 r/mm
干丘	176	2.4
陈李庄	1 276	6.4
陈王庄	267	2.9
屯门	713	4.8
开发	407	3.6
平坝	985	5.6

续表

乡 名	亩 数	比例圆半径 r/mm
得和	1 410	6 7
张家坪	2 124	8 2
上村	471	3 9
上门	817	5 1
卢村	1 869	7 7
大泉	925	5 4

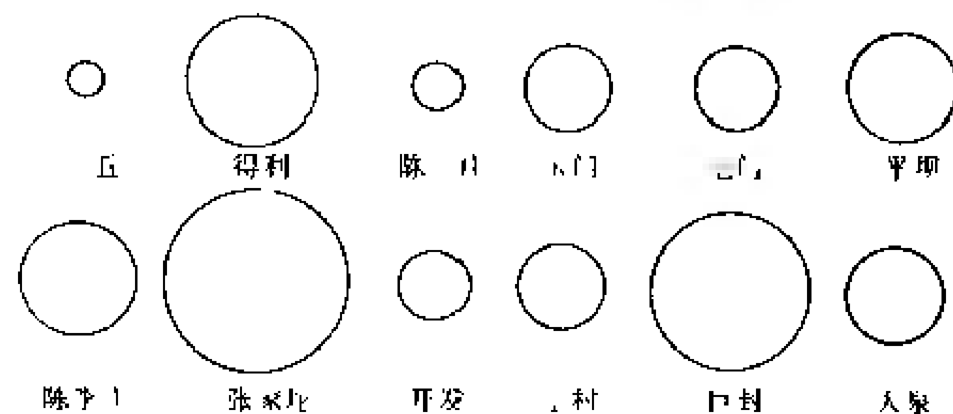


图 5-8 比例圆

如果将图 5-8 的比例圆重叠在一起,会发现各乡的产量有自然归纳为几组的趋向(图 5-9)。

若数据量很大时(如有几十个乡或百余个数据),更须将数据整理成若干组,按比例设计圆面积符号。因而在定量制图中便提出了分级数目和它的比率处理

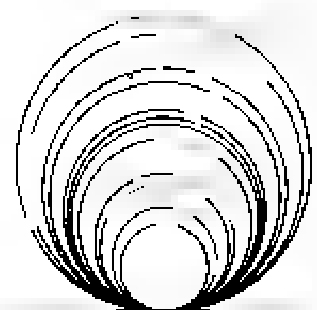


图 5-9 依序重叠在一起的比例圆(已放大 1.4 倍)

1. 确定数据的分级数目

分级的目的在于帮助阅读和分析。人们从认知的心理测验中了解到,当数据组分为 7 个以上时,人们的短时记忆受到影响,若分级数太少时,数据的层次过分简化。制图时将数据组分为 5~9 级是比较合适的。

2 确定比例圆的尺寸或比率

以表 5-1 的数据为例,假如我们以等间隔将它分为 5 级,每 388 亩为一个间隔,比例圆的半径从 2.4mm 增至 8.2mm 共 5 级,经过整理,环山县各乡玉米种植的亩数,被归纳到 5 种比例圆中,其数据如表 5-2:

表 5-2 环山县各乡玉米产量的分级

数据范围 亩	圆半径 r/mm	乡名及亩数
< 564	3 3	丘(176)、陈庄(267)、开发(407)、上村(471)
564~952	4 3	屯门(713)、王门(817)、大泉(925)

续表

数据范围/亩	圆半径 r/mm	乡名及亩数
952 ~ 1 340	5.3	平坝(985) 陈李庄(1 276)
1 340 ~ 1 728	6.3	得和(1 410)
> 1 728	7.3	上封(1 869) 张家坨(2 114)

近年的研究发现，一种称为值域分级的方法[1]，能产生更为良好的心理效应。

从比例圆设计的过程我们可以发现，确定数据的分组范围和确定比例圆分级的过程，已经排除了数据绝对值的出现，比例圆仅是视觉效果的参照物，即视觉效应比绝对比例更为重要。

值域分级的方法是将数据分成若干组，每组用一个比例圆表示，使每个比例圆之间有很好的视觉比较而不拘泥于数据的绝对值，分级间隔则是用迭代法确定的级间差异。图5-10是H.J.Meihoefer设计的10个值域的比例圆，它可以应用于任何数据组，表示数据之间独立的和连续的关系。

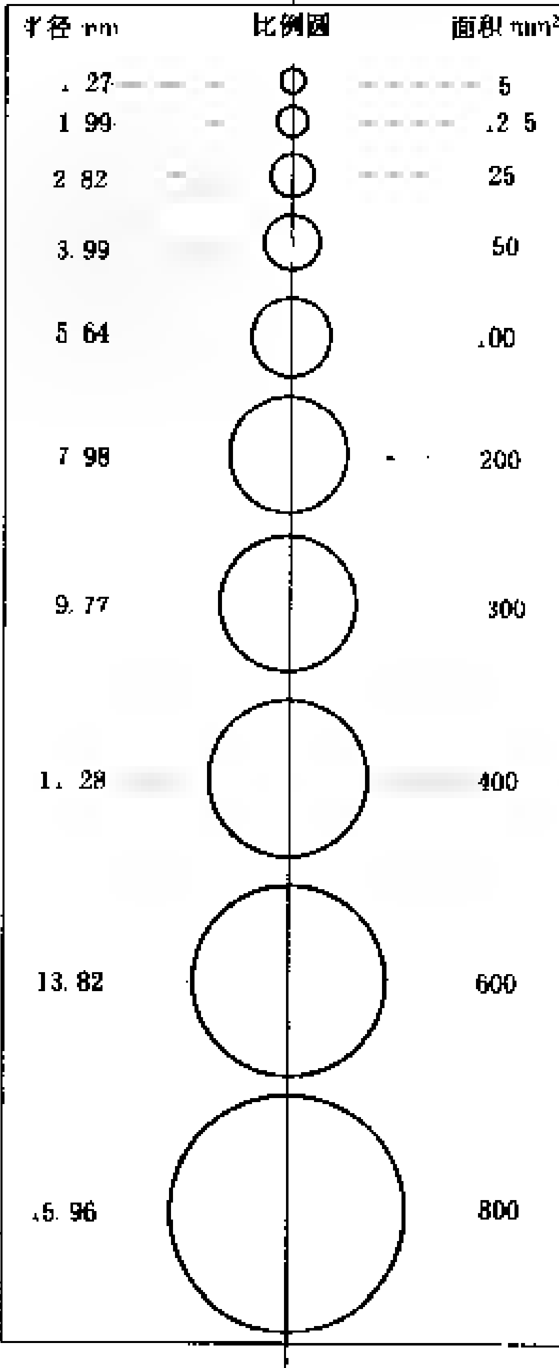


图5-10 Meihoefer设计的值域分级圆（缩小至0.58倍）

图5-11选自值域分级圆的5个相邻的圆，数据组内的所有数值都归纳到5种比例圆中。

表示比例圆的数据尺度可以有：

(1) *连续尺度* 数据相连接，并且是起始值倍数的尺度，例如表5-2的连续尺度是：< 564，564 ~ 952，952 ~ 1 340，1 340 ~ 1 728，> 1 728；

(2) *非连续尺度* 数据独立，也可以是起始值的倍数或其他值的尺度，例如从表5-2的数据分析，可以将5个尺度列为：< 500，700 ~ 850，900 ~ 1 000，1 200 ~ 1 500，> 1 800。

(3) *任意尺度* 数据独立且互不关联的尺度。例如某油区5个油井各有不同的产量。

[1] H.J.Meihoefer. The Utility of the Circle as an Effective Cartographic Symbol. Canadian Cartographer 6, 1969

比例圆只有象征意义，通常还应将数据注在比例圆旁，可以不再另画图例。

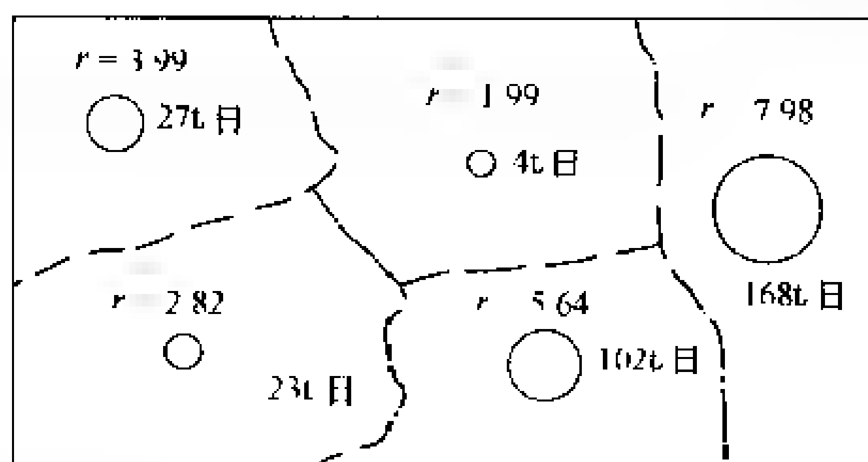


图5 11 值域分级圆的应用

1.3 点状符号的扩展

上面关于比例圆的讨论，只是就二维图形中的一种进行了分析，而表示在地图上的点状符号，尚有其他一维图形和三维图形的多种形式。以圆形、正方形和三角形为例，点状符号的二维图形可以扩展为：

(1) 分割圆 如图5-12所示，饼状或环状的分割圆是一种定名量表，但也反映数量的特征，表明占全量的百分比。采用环状分割圆的目的是空出中心位置以表示地理底图上的居民点或交通要冲，适度减少了空间载负量。

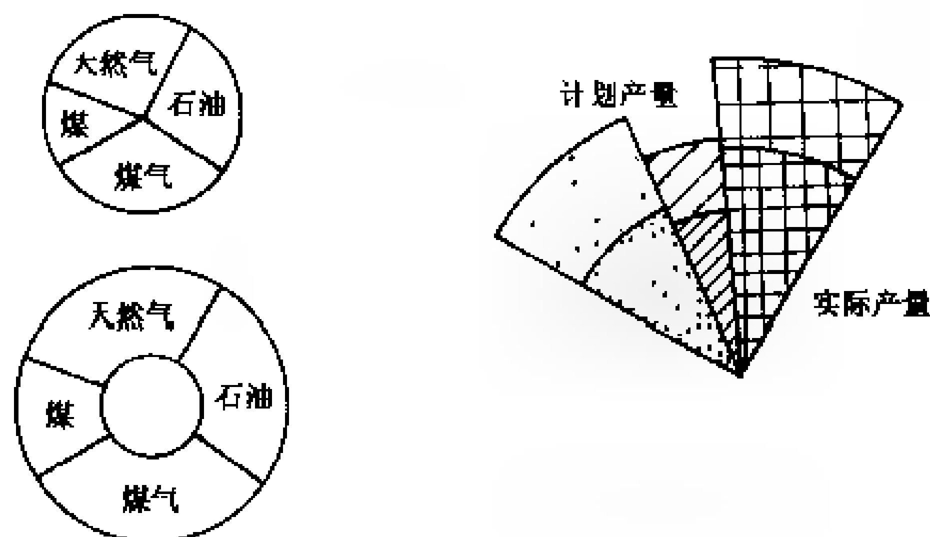


图5 12 分割圆统计图

也可以采用扇面的图形表示多指标的数据，以反映不同指标间的差别。

(2) 百分比几何块 如图5-13所示，a图是一种经常使用的柱状统计图表(或称直方图)，它可以自由地决定纵坐标的绝对值或相对值，然后进行等分；b图和c图则是将一个三角块和正方块的边长各分割为10×10份，按百分数填入相应的分类值。

玫瑰图也是一种二维的图形，表示一个区域按方位的统计数据，有很好的直

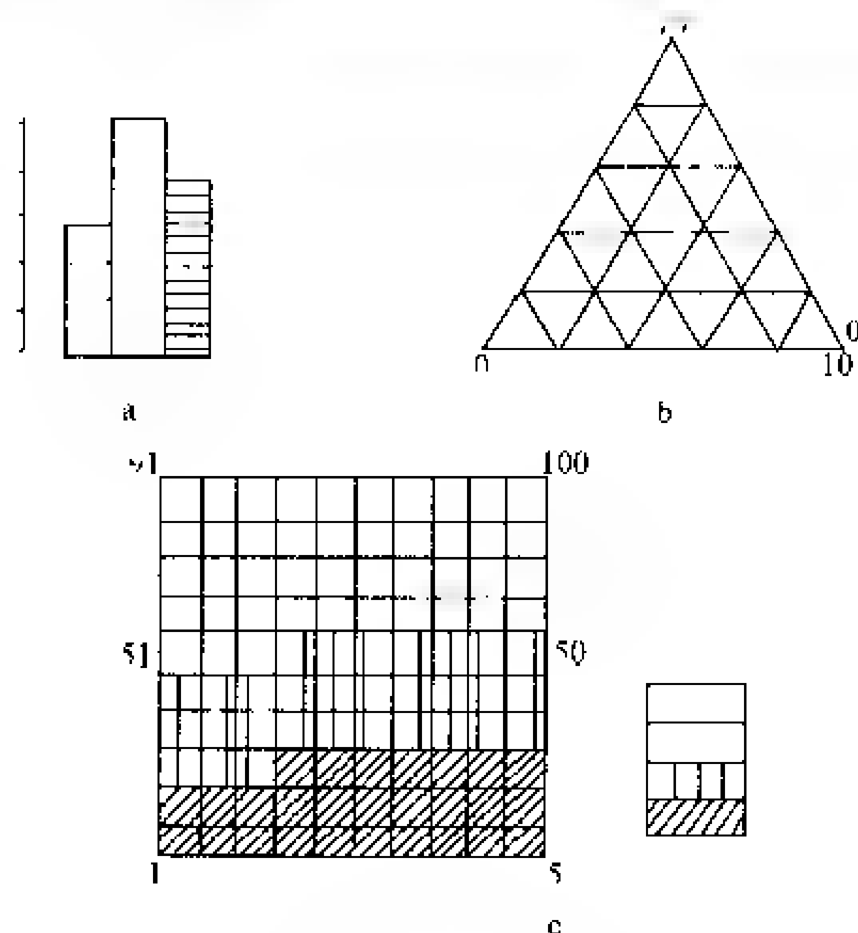


图 5-13 几何块统计图

观效果。最常见于表示各测站的年均风向频率(图 5-14)。

三维点状符号本身是一种形状变量,它可以配合颜色、方向和网纹的多种变量,产生彩色和非彩色的图形。

三维图形使点状符号产生立体感,还减少数据在图面上所占的空间位置。常见的三维图形有:

(1) 球状符号(图 5-15) 将数据代入圆球体积公式 $D=4/3\pi r^3$ 中,取它的半径 r 绘成球体。如果一个数据为 100mm^2,采用圆形符号时,它的半径 r 为 5.64mm,若采用球体,则球体的半径 r 只有 2.88mm,所以在表达相同的数据时,球形符号所占图面空间为圆形符号的 1/4。

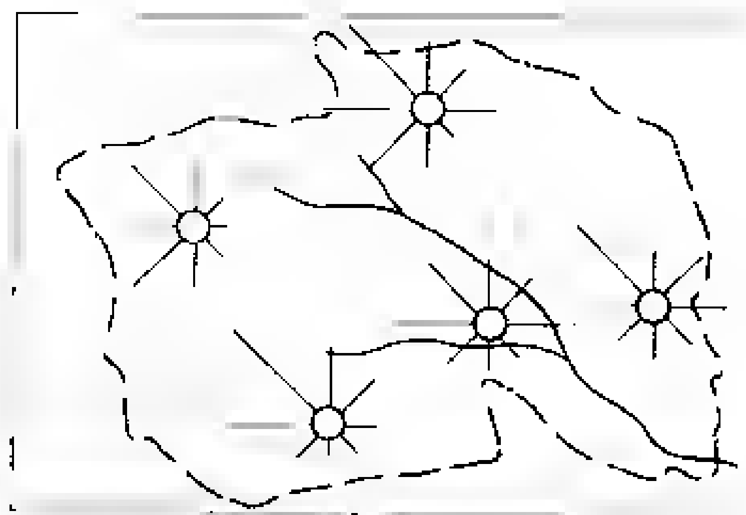


图 5-14 风玫瑰统计图

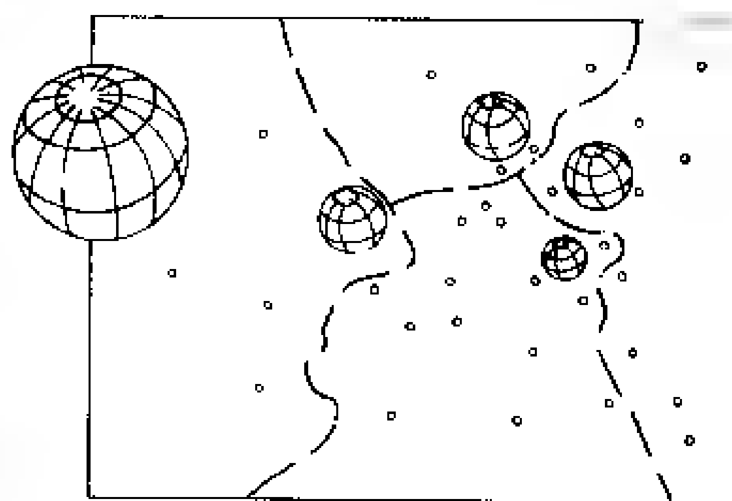


图 5-15 球状符号

球状符号可以应用在数据差值很大的地图上，例如人口分布图，城市的人口比农村要多很多倍，若在城市采用球状符号，可以使图面空间的符号不至于太拥挤，且绘出的地图具有明显的立体效果。

（2）柱体符号 柱体的体积为底面积×高，而底的形状可以是多种图形（图5-16a）。柱状符号的应用，多数取其形状的美观，也可以比较它的高度，却很少计算它的体积，除非用刻度表明单位立方体的大小（图5-16b）。

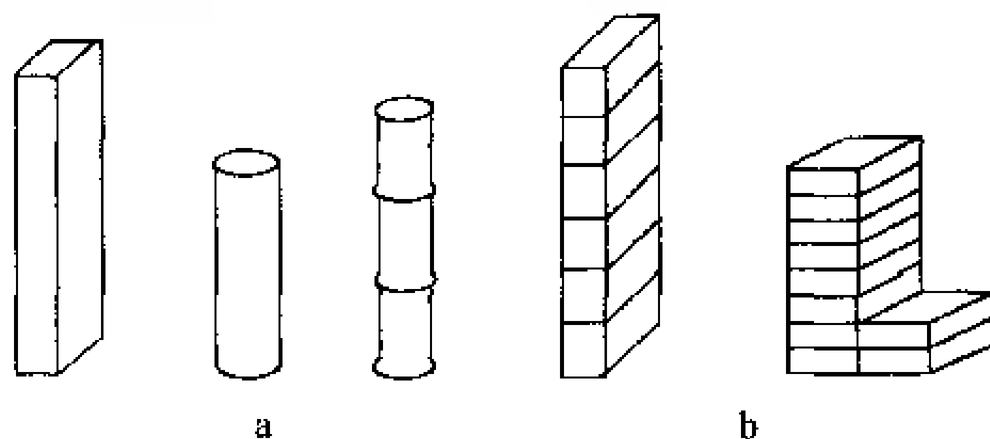


图5-16 柱状体符号

（3）轴侧图符号 工程制图上使用的轴侧图，是由平视、俯视转角而成。这种三维图形有很好的立体感，轴侧图也可以构成不同视角的棱形体（图5-17）。

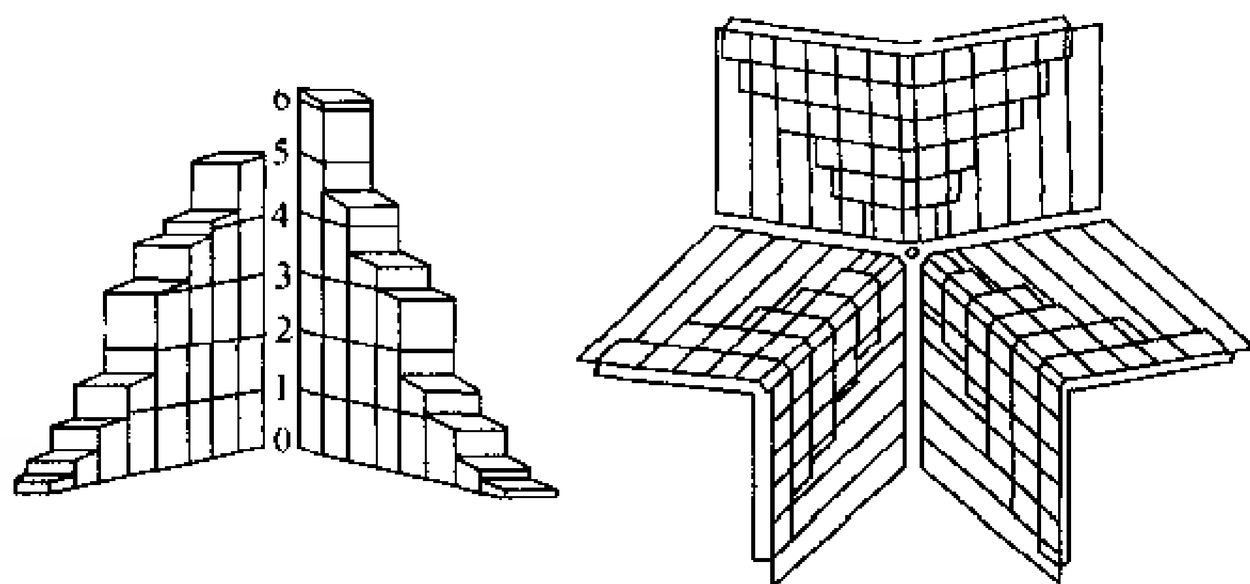


图5-17 轴侧符号

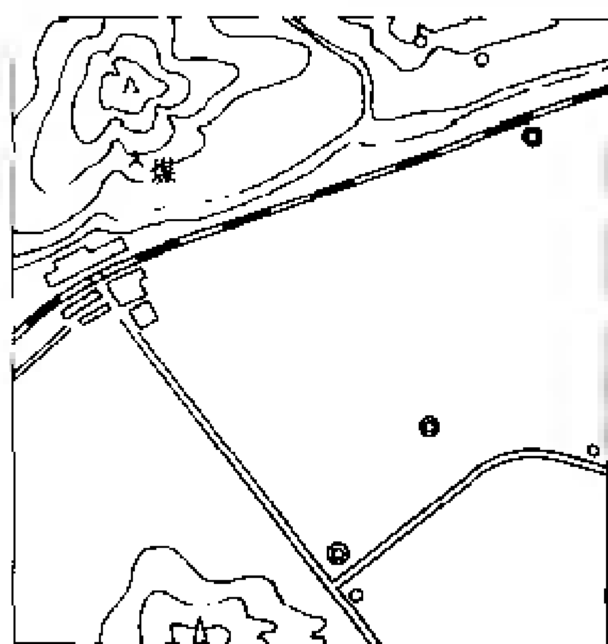
三维符号最适宜于采用色相、彩度或网纹变量进行图形的整饰。

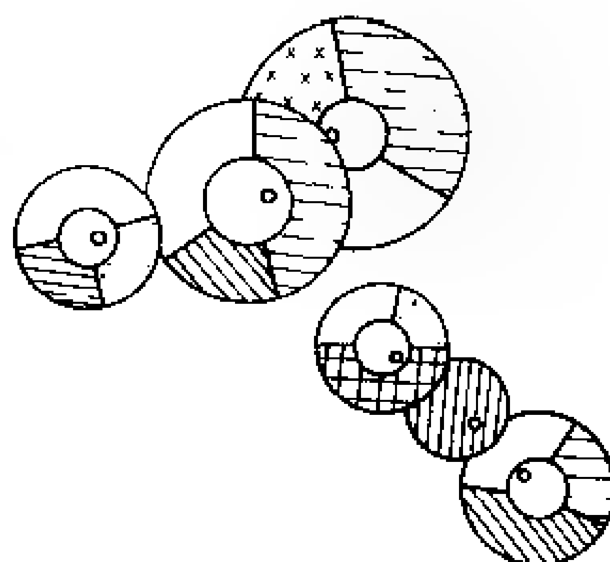
1.4 点状制图的定位处理

点状符号在普通地图和专题地图中都有广泛的应用。在地形图上，控制点、居民点、独立地物（庙宇、守林屋、瞭望台、敖包等）都采用了定名的或顺序的点状符号（图5-18），这些符号的重心或底点，都与地物的地理位置（经纬度或直角坐标）相重合。按照规范，相对于编图资料的容许位移不应超出0.1~0.3mm

另一类点状符号说明一个地理范围，例如地类界内的阔叶林符号，一般是放置在地类界的中心或其他合适的位置。

在专题地图中，点状符号只有少数可以放置在数据中心位置上。因为：①专题符号一般都较大，若数据中心是居民点，会影响地理底图的显示；②专题数据虽然以一个点状符号出现，但它大多占有较大的制图范围；③专题符号由于地理位置的接近，经常是叠置在一起的，适当的移位是必然的（图5－19）。因此，专题的点状符号只要求位置合理，有时位移过远，则应以箭头指向所代表的数据源位置。


图5－18 定位的点状符号


图5－19 点状符号的位移

如果点状符号是代表一个区域的数据，通常定位在这个区域的重心位置上，这种地图通称分区统计图。

表示统计量的点状符号的图形设计不应过繁，因为设计过繁的点状符号使地图载负量过重，非但不会增加很多的地图信息，而且不利于对数量的判断。地图设计得易读是一条基本原则，现在机助制图可以在较短时间内完成地理数据的地图编辑，并分解出多幅专题地图。所以一组地理数据在地理底图上多编辑几张地图，比制成一两张繁杂的图幅更有利。有时，统计数据如果只有少数三四个地点的信息时，用统计图表来表示要比用分区统计图表示效果更好。

1.5 用点状符号表示数量的分布——点值图

人口分布或作物分布是一种离散的地理现象。虽然采用以区域单元的方法反映数据，但它和等值区域法不同，因为在一个区域单元内不采用均匀分布的网纹符号，所以是一种区域频数制图。当编图完成后，区域单元界线在清绘成图时即行删去，而出现一种离散点的分布。

制图的步骤包括：

(1) 确定区域单元 点值法是以区域单元内的地理统计数据制图的，和等值区域法一样，它必须获得区域单元的行政界线图和相应的统计值，例如以乡为统计单位时，应有乡界线的底图和统计数据。

(2) 确定区域单元内数据的分布位置 因为在一个区域单元内并不是所有土地都适宜于表示某一种地理信息，例如人口，它不可能分布在军事禁区、沼泽地、盐碱地、自然保护区和山岭上；水稻，它不可能分布在远离水网和坡度很大的坡地上。所以在制作点值图时，首先对区域单元的限制因素进行过滤(图5-20)，勾绘出不可能表示主题信息的区域，剩余的地区才是能布设点状符号的地方。

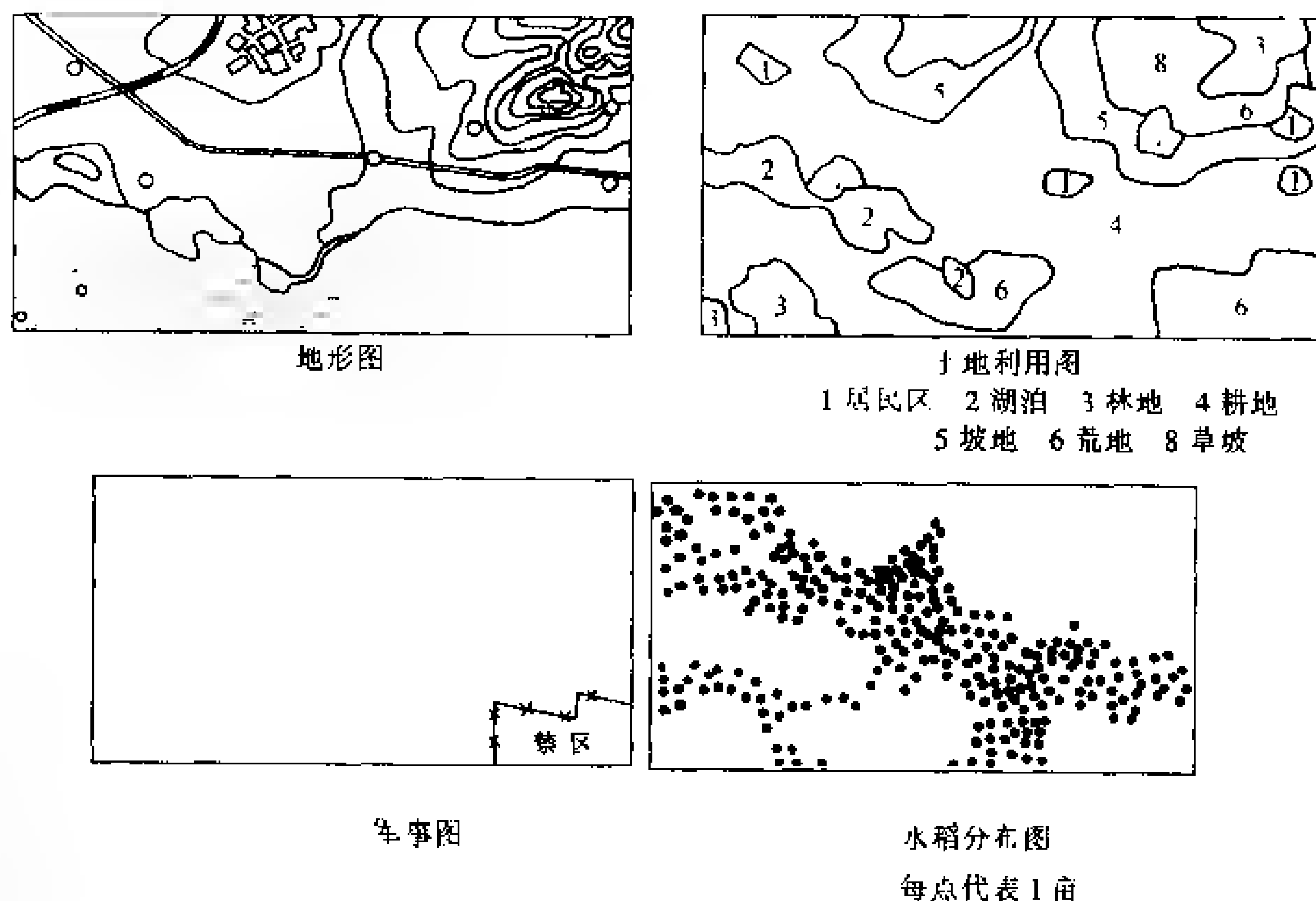


图5-20 布置离散点的区域过滤

(3) 计算点值和点的尺寸 从多年来点值制图的经验分析，点状符号最合理的直径为0.5～1.0mm的圆点，也不排斥直径大于或小于0.5～1.0mm的圆点、方形、等边三角形的点状符号。

点值的大小应该以制图范围内区域单元最小而数量最多的地区，平铺出全部圆点而没有重叠为最高限。例如，某稠密地区的图上面积为17cm^2，而人口数为33 900人，圆点直径为0.5mm；则每一个圆点代表人口数为：

$$33\,900\text{人}/1\,700\times4\text{点} = 4\,985\text{人}/\text{点}$$

凑整为每个圆点代表5人。

在通常的情况下，编制一张点值图往往要对点的尺寸和点值进行多次的试验，稀疏的区域单元不止2～3个点，稠密区域单元所布的点应当恰好相接而不至于重叠。

（4）作图 经过计算，确定了每一区域单元的点数后，便可以布置出全部圆点的位置。布点时，还要注意不要有意无意让开区域单元界线（图5－21），这样会出现删去界线后不合理的现象。

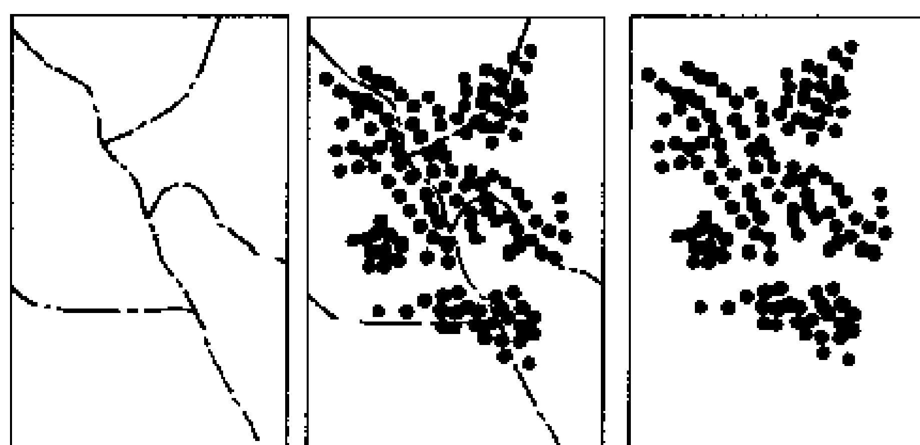


图5－21 因为让开行政界线造成的布点结果

点值法应用于多项数据制图时，各项数据可采用不同色相的圆点来表示，圆点的直径也可以有变化。

点值法虽然是定量制图，但由于它没有区域单元界线，所以不适宜于准确的定位，但由于圆点按频数分布，图形比较直观，故能达到制图区域内数量对比的效果。

§2 线状符号的构成

2.1 定位线表示图上连续的地物

空间信息有许多线状要素，例如坐标线、境界线、海岸线、河流和道路，它们构成地图的控制网。有时只要其中一种要素（如河流）就可以形成地图的“骨架”。因为线状要素大都定位于地图的坐标网上，所以沿线连续分布的专题内容，也都表示为不同符号宽度的定位线，并采用定名量表或顺序量表。

从地理数据表示为线状符号，可以归结为两种数据类型：

（1）极端数据 要说明经线的经度为120°，应该既不少于120°，也不多于120°，则这条经线在地图上应为无限细；境界线是两个界桩中心点的连线，因此在图上它的宽度也是无限细的。所以表示在地图上的经纬线应为接近印刷精度

的细线，而出于突出境界的目的，境界线才有一定的宽度。

(2) 宽容数据 在地理环境中，线状数据实际上是一个过渡带，如图5-22，海岸线由高潮位与低潮位之间的潮侵带构成，其宽度可达几千米，自然界中的土堤也是一个宽带，在中小比例尺制图时，海岸线和土堤都用它的中轴线绘制成线状符号。在线状数据中，河流的表示又略有差别，从河源到河口，随着水流量的增加，河面不断加宽，因此河流要表示为从较细逐渐加粗的线状符号(图5-23)。

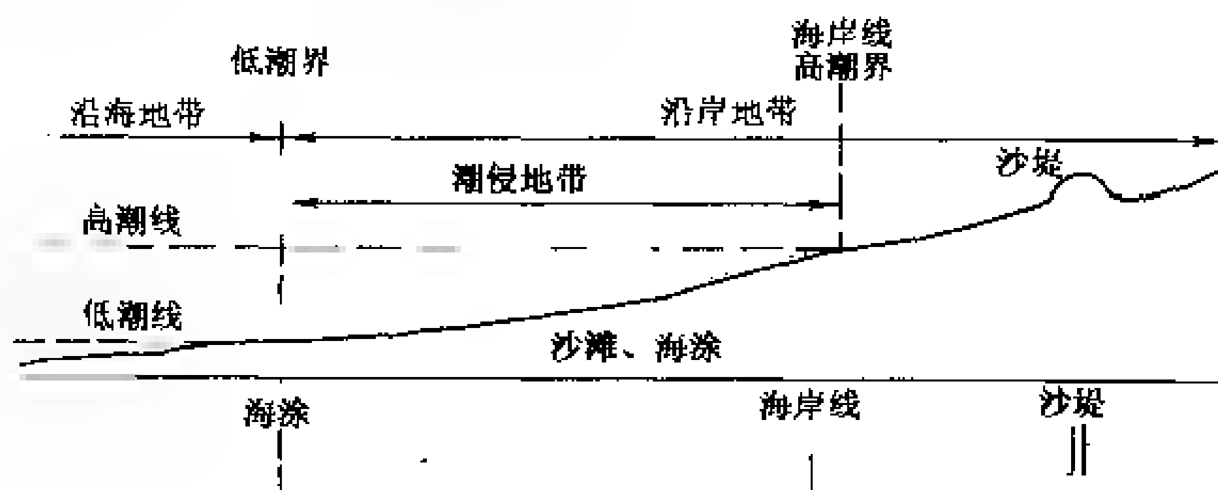


图5-22 海岸的线状符号表示

从资料来源分析，线状符号的平面位置多半从原图缩放而来，因而其位置是准确的。但在新编地图上，线状符号的图形和尺寸都要有一些变化，有些要概括它的形状，有些要从定名量表转为顺序量表表示，例如境界线的变化，虽然任何境界线都是极端数据，而表现在地图上，则划分为国界，省(区)界，市(县)界，……直至乡界(图5-24)。图形上不仅表示为不同图式的线段，其宽度也逐级由粗变细。从境界线的系列看，它是顺序量表，但从某一种界线(例如国界)来说，则是一种定名量表。

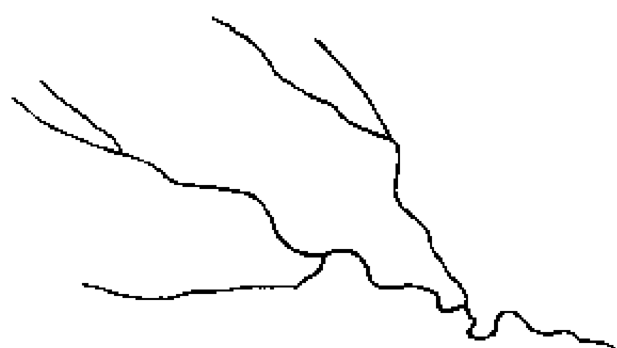


图5-23 河流符号的逐渐加粗

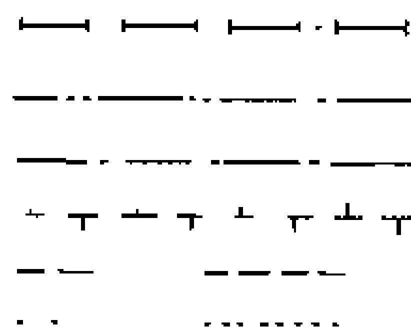


图5-24 境界线符号

定位线的种类很多，不少专题图都有本专题的线状符号系列，采用的变量主要是形状、尺寸、色相和彩度，总的特征是采用符号的组合或附加一些形状变量。例如构造地质图是由各种构造线组成，它的图例变化如图5-25。由于线状符号所占图上面积很小，所以选择色相或彩度应以较深的色彩为宜。

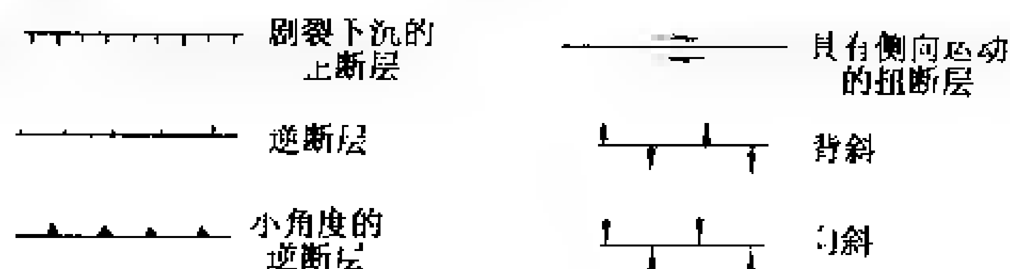


图5-25 构造地质图的线状符号图例

2.2 走向线的定向与量化

走向线也称为运动线，它表示地图信息在图面上的移动轨迹。

走向线表示信息的移动负有以下的使命：

(1) 反映移动的起点和止点 多数情况下，起止点必须明显地标注在地图特定的地理位置上。

(2) 表示行进路线 如图5-26所示，如果从北京向南京行进，要看沿铁路线还是沿空中通道。沿铁路线描绘行进路线，是一种精确的走向线。如果不要求行进与线路建立精确联系，或采用空中通道，也可以用概略的走向线符号来表示。

(3) 流向 是北京通向南京，还是南京通向北京？一般常在到达的地点前加绘箭头，或者在线路旁加绘小箭头，以表示其流向。

(4) 流量 对两个地点之间的输送量。对流量的表示要运用顺序的或间距/比率的量表。

首先将不同线路的流量分级，然后根据地图图幅的大小，确定输送线上最宽的尺寸。因为线状符号和点状符号不同，线宽会受到地图图面的限制，流量分为5级已算很多。采用大、中、小宽度的顺序量表也是合理的，这样在视觉上不容易对数量估计偏低(图5-27)。

(5) 流速 例如反映输送物品所需的期限。如果是额定的数字，则有千米/日及仓储时间的计量。由此可标记成：北京至南京、武汉均为5日，北京至沈阳、呼和浩特均为3日，在地图上可以使5日和3日的流速分别为不同色相变量的箭头。

(6) 性状指标 反映运动对象的特征。如洋流的寒流和暖流、落潮和涨潮，气象中的高压气团和低压气团，保卫战中的主攻方和反击方，它们要用反差最大的色相变量表示，例如互补色，或红色和蓝色。

此外，对于同一运动方向的不同产业部类，也可以采用不同网纹变量把它们区别表示。

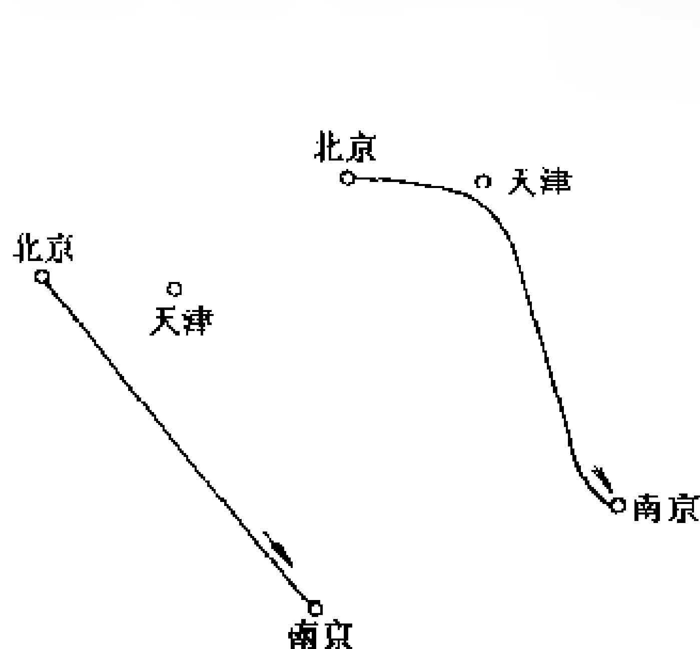


图5　26　行进路线

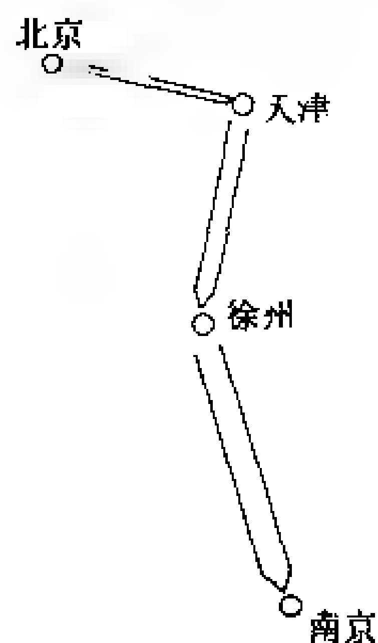


图5　27　流量的表示

(7) 相互联系　沟通两个地点的地图信息常需要建立相互联系。例如，当上海方面有大量的水产品、纺织品、轻工业产品、钢铁制品输向南京方向时，同样也会从南京方向把煤炭、农副产品、化工原料、工业陶瓷等输向上海。因此，地图上就可以利用铁路、公路线作为纽带，表现双向的运输路线，图5－28反映了这经济上互相联系的状况

在地图上两地之间货物的流通，习惯都采取路线的右侧为输出、左侧为输入，即“左进右出”的原则。

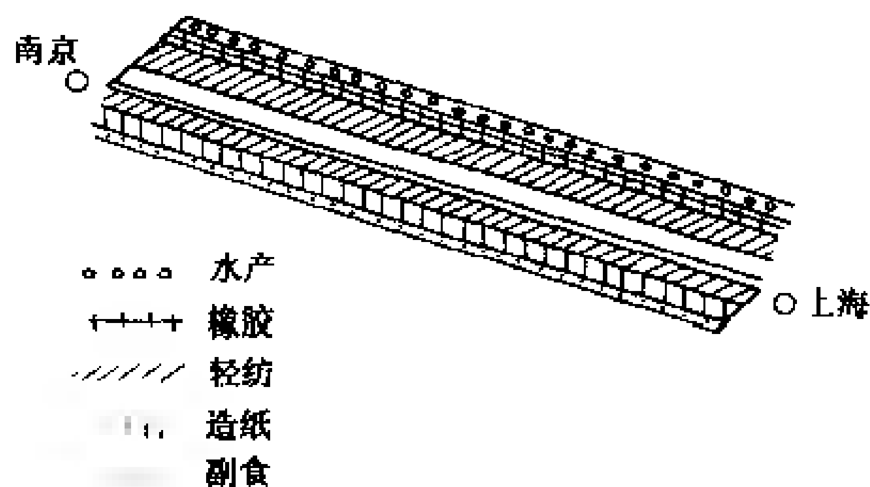


图5　28　双向的运输路线

走向线的其他形式还可以有：沿线用短箭头相接（图5－29a）、宽箭尾（图5－29b）等。对行进路径并不精确的数据，也可以采用虚线或两点直接连线表示（图5－29c）。

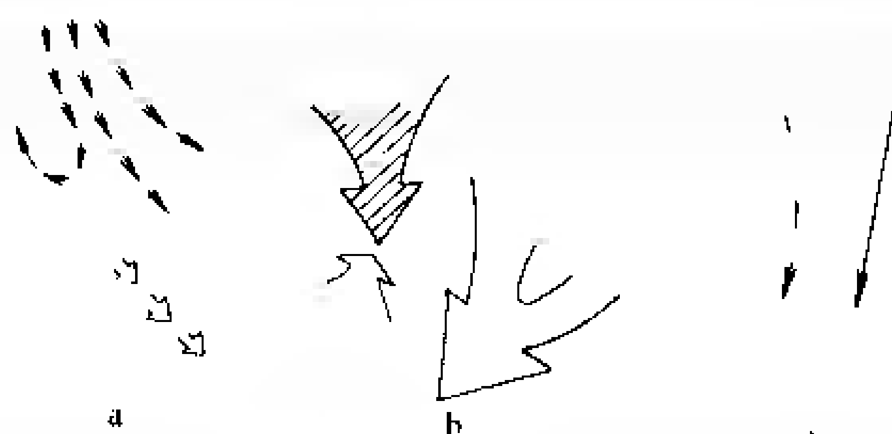


图5—29 走向线的不同形式

2.3 用线状符号表示定量的分布——等值线、等密度线

定量分布的地理现象经常采用等量线表示，以显示空间数据的三维模型(图5—30)。例如描述地表的起伏采用等高线，反映地表气温梯度采用等温线，强调人口稠密程度采用人口密度图，以此来表示空间分布体积的或抽象的结构。

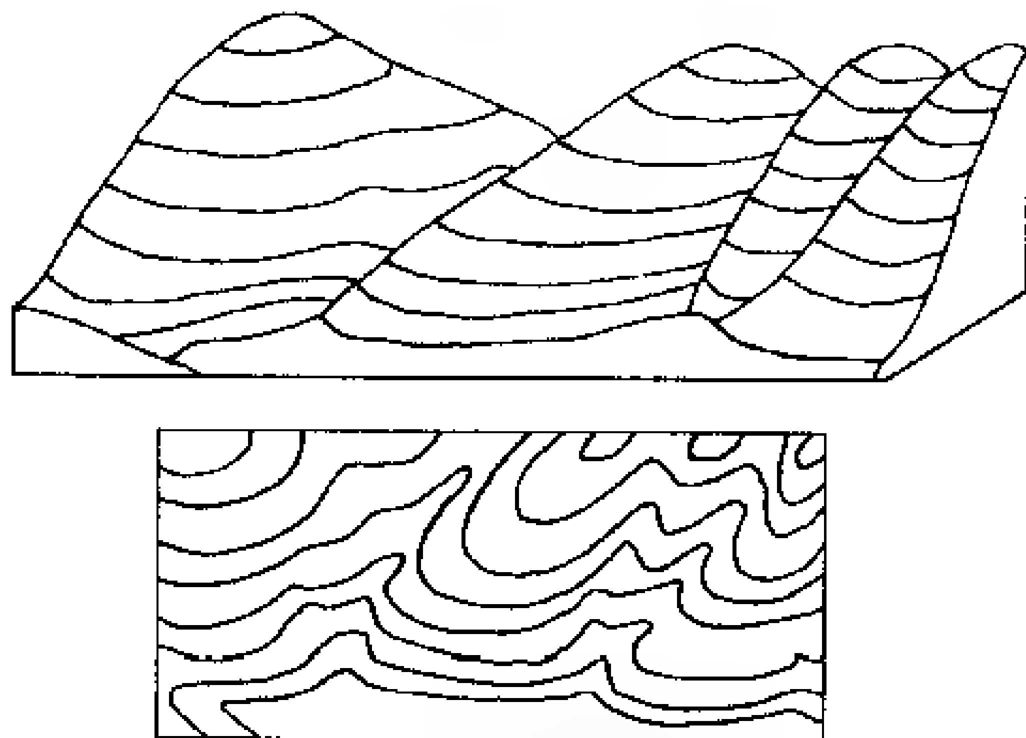


图5—30 等值线表示空间的三维模型

等量线按照数据的特征，可以分为等值线和等密度线两类：

等值线的制图数据是定位点的测量值或派生的数值。例如高程点、降水量、温度，均是经过野外或室内的量测仪器测定的数值，因而都是绝对值。由绝对值派生的数据可以有平均值(如月平均气温)或比率(如相对湿度%)。

用等值线表示数据的分布，说明它的容量，例如等高线包含的山体，是指海拔以上山体的容积，不仅是线状符号，因而又是体积符号。

等密度线是由显示在区域单元上(图斑)的平均值数据产生的。等密度线制

图不能采用绝对值，如要表示区域单元的数值，必须将绝对数值转为单位面积的比率或比值。例如区域单元内每平方千米的人口数——人口密度(图5-31)等

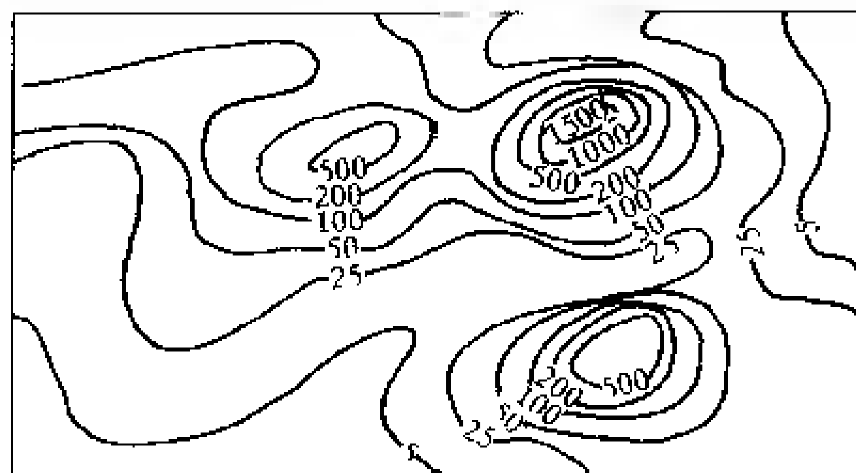


图5-31 人口密度图

等值线图具有以下特点：

(1) 等值线显示了空间数据的整体变化，其采集的数据必须是连续的，经过制图构成一个封闭的、三维的、线状表面。

(2) 等值线是定量的符号，它可以进行图上量测，从而获得任意点的 x, y, z 数值。它也可以进行图上作业，获得点间的水平面与垂直面图解数据。但等密度线是在一个统计面上定位的，因此它的统计精度较低。

(3) 在比例尺变换时，等值线容易通过制图法则进行图形的概括。

(4) 正是由于等值线制图对专题的三维模拟具有重要的价值，制图者必须充分研究制图背景，广泛地了解制图对象的分布，才能编制出好的等值线图。

§3 定性信息的面状制图

3.1 定性信息的特征

地球表面的许多物质是以连续分布的形式覆盖在大地上的，这种面积数据，常常很难确定其数量指标，这种地图主要表示物质的位置。例如，某个区域覆盖着红壤，但你很难量测到它有多少吨，或回答出这里的红壤比另一个地方的红壤“优良”了多少倍。又例如在一张民族分布图上我们不能以质量来衡量这一个彝族聚居地和另一个彝族聚居地有什么质的差别。所以在自然界或社会现象上，随处存在定性数据的连续分布，并且多数以定名量表表示。

定性信息表示在地图上有三种基本形式：

(1) 类型图 类型图是没有空白范围的，所有图斑不是属于这种类型，就是

属于另一类型(图5-32)。如果出现复域类型,这些复域图斑便成为新的类型,它们之间也互不重叠。例如植被图中自然植被的温带—亚热带灌丛是一类图斑,农业植被的一年生粮作和亚热带常绿经济林也是一类图斑,它们的复域:"温带亚热带灌丛+一年生粮作和亚热带常绿经济林"则占另一类的图斑,因此互不重叠。

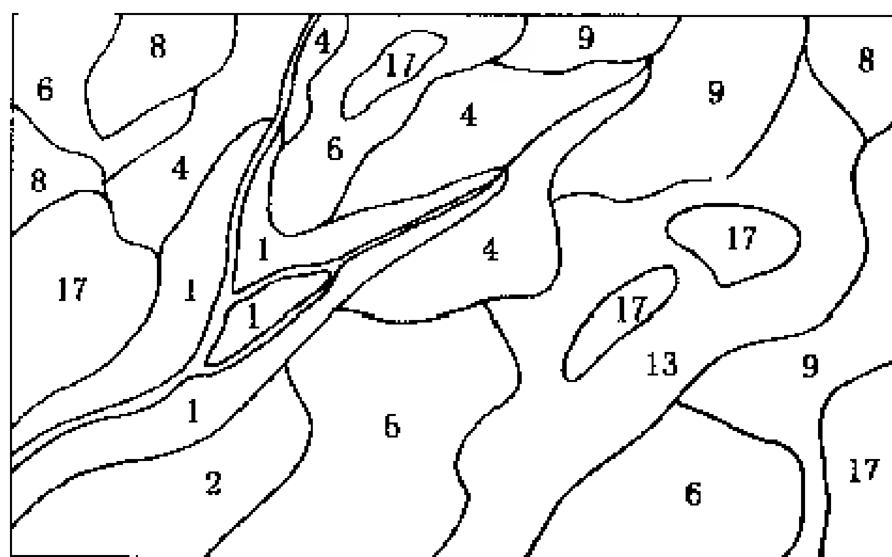


图5-32 土地类型图

(2) 区划图 社会现象中的分省、分县地图,都属于区划图。它们的特征也是区域范围互不重迭。例如重庆市是直辖市,它与四川省在行政范围上不重叠。万县、涪陵都属于重庆市,但万县和涪陵范围也不重叠。区划图和类型图略有不同的是,图斑之间没有从属关系(图5-33)。正由于它们具有同级的特点,运用色相变量表示图斑时要有较大的差异,并且不宜采用相同色相、不同亮度的图斑设色

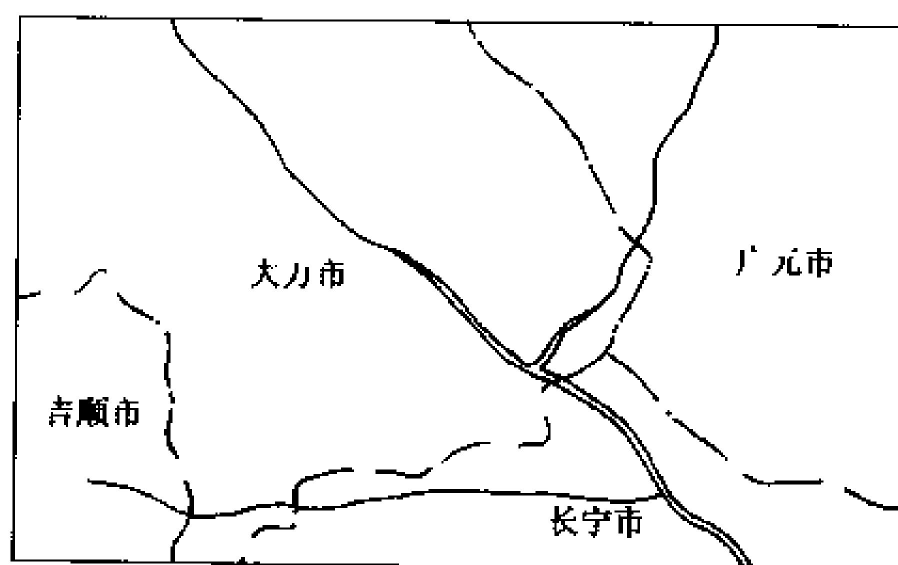


图5-33 行政区划图

(3) 范围图 一个图幅范围内产业或作物的分布通常不能布满全区,因而显示在地图上呈散列及片状分布的图斑。当表示两种以上的产业和作物时,它

们在地图上的图斑有可能互相重叠(图5-34)。

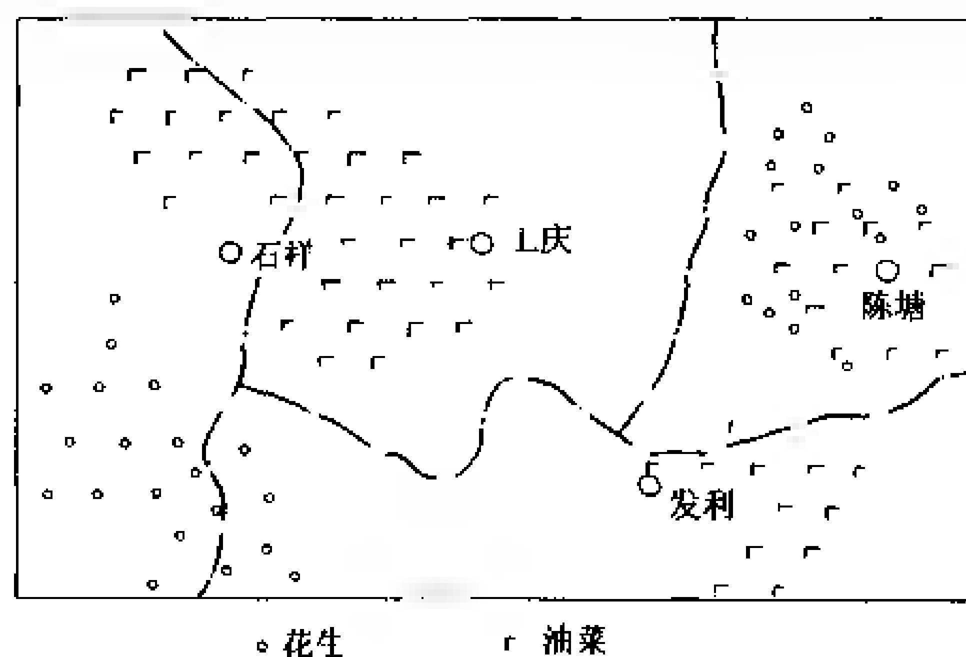


图5-34 花生、油菜分布图

3.2 适宜于表示定性信息的变量

在彩色地图上,色相变量是表示定性信息的第一选择。

定性信息所需要配备的色相很多,因为一张植被类型图或地质图可能有上百种类别,也就会属于不同的色相。类型之间或区域之间不具有上次地位时,选配色相的亮度差异或彩度差异不显著。一般情况下,大面积的图斑不宜用过暗的色相,而小面积的图斑若色相浅淡,视觉上会有一种凹陷感。因为色相不暗示图斑的顺序性,因此在铺设颜色时,应协调图斑之间的色相,使视觉上不产生链条状的色带,或像色盲图谱那样隐含某种图形。

定性信息也常用网纹表示,网纹中的排列、纹理和方向变量,都能为定名符号提供各种式样的小几何图形,图5-35中表示的是国际大比例尺地貌类型普

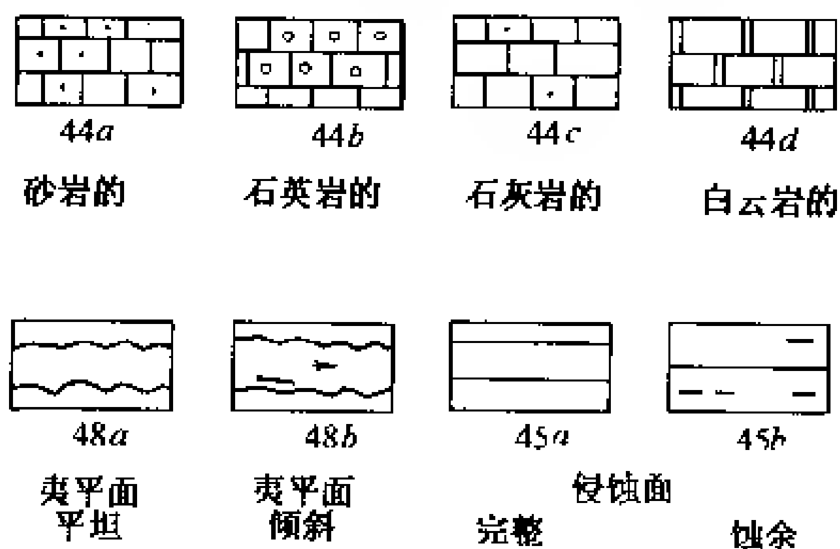


图5-35 地貌网纹的种类

查所采用的网纹符号 其他的专题地图如地质图、水文地质图也都采用了大量的网纹符号,这些符号印刷时是用单色或彩色制版的

应用网纹变量时要注意到符号的协调性 排列的、纹理的或方向的网纹在一种地图上应粗细一致,也就是排列变量的尺寸、线宽要比较统一,小符号的复杂程度也要划一,才能使网纹在视觉上比较均衡。注意纹理的宽度和图斑间纹理的交角,经过多次比较才确定选用的方案,以消除纹理和方向变量形成的不稳定感受

3.3 定性信息的处理程序

类型图与分布图是定性信息面状制图中最常见、最常用的图种 通常都由地学工作者根据任务的要求,经过野外调查与填图、遥感影像的调绘与判读取得原始资料、例如对单一作物调查和填图,其成果将是某种作物的分布图,如茶园分布图;对两种以上作物的调查,其成果便是多种作物分布图,如热带作物分布图,它记录了咖啡、可可、胡椒、油棕等的产地。土地利用图则是土地覆盖物的分类制图,就是一种类型图。现以类型图为例,说明以定名量表进行定性信息处理与制图的过程、

1. 类型的调查

航空遥感图像是类型调查最直接的空间数据,编制类型图最佳的资料是2~3年内进行航空摄影所得到的航空像片。

航空像片的种类有:黑白航空像片,彩红外航空像片和彩色航空像片 但原始的像片没有进行过投影纠正。

利用航空像片进行类型调查的最佳时机是航测调绘的期间,因为可以和测图外业同步进行。在航空像片进行正射纠正的同时,也纠正了由于像片倾斜和地形起伏引起的类型图斑的误差。航测调绘的成果大部分都可以供类型图编绘时使用

卫星遥感图像也是类型调查的数据,20世纪80年代以来,我国已经广泛应用卫星遥感数据进行专题地图的调查。

也可以利用地形图进行野外填图。地形图测绘的年代一般都比新的一次航空像片早一些,因此,要求填图用的地形图比例尺要大于或等于类型调查的成图比例尺,使地形图上的方位物容易判读,以保证类型填图的精度

2. 类型图的分类、分级和图例设计

根据学科的特点,类型制图可以构成三或四级分类。例如调查北方植被时,其分类分级如图4 36所示、这种分类也就是层状结构、

和分类相对应的是图例系列 通常第一层分类的面状符号采用色相变量表

示。在类型图着色时运用模拟色是有困难的，若寒温带植被采用蓝绿色，荒漠植被采用黄绿色，亚热带植被采用深绿色，则植被图就只好绿成一片了。植被制图的原则，还要从美学观点出发，进行图幅的整体设色。第一层分类的面状符号通常采用色相相同但彩度或亮度不同的颜色，这样做可以形成分类的系统性，而不至于采用过多的色相。到了第二层分类时，应该考虑采用网纹叠加在色相上，而网纹的颜色可以和第一层的色相不同。网纹的疏密程度受图幅的尺寸影响很大，桌上用图（四开版或更小）所使用的网纹应细致一些，而挂图的网纹则要宽粗一些。有时，第二层分类是在第一层分类的色相上露出白底网纹（阴像），也会产生良好的感受效果。

任何一种类型图的调查，都可以使用数字代码作为图斑类别的记号，例如一级分类用Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，…，二级分类用1，2，3，4，…，三级分类用a, b, c, d，…，这样便构成一个图斑的代码如：Ⅲ2d，在编绘原图时可以代替面状符号。有些类型图为了明确图斑的性质，还将代码表示在印刷图上。

3．类型界线的绘制

利用航空像片和卫星像片调查类型界线时，至少要有10%面积进行实地调查和野外判读，建立类型判读标志，才有可能转入对大部分地区的室内判读，而且判读结果还要进行野外检验。

在一个地区存在交错的类型区时，二种或三种类型在这个区域中均占有1/2或者1/3，因此很难判断它们间谁有绝对优势，即存在复域图斑。例如在苗族和瑶族共同生活的区域，我们会采用图5－36的方式表示共处的范围，而在华北油松（Ⅲ4）和落叶松（Ⅱ3）杂处的地区，我们会在图5－37中分别用Ⅲ4，Ⅱ3和一个独立的图斑（Ⅱ3＋Ⅲ4）来表示落叶松为主和华北油松为次的类型区。

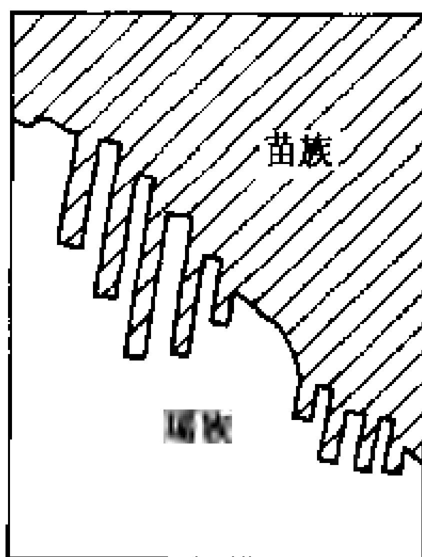


图5－36 用两种符号表示复域

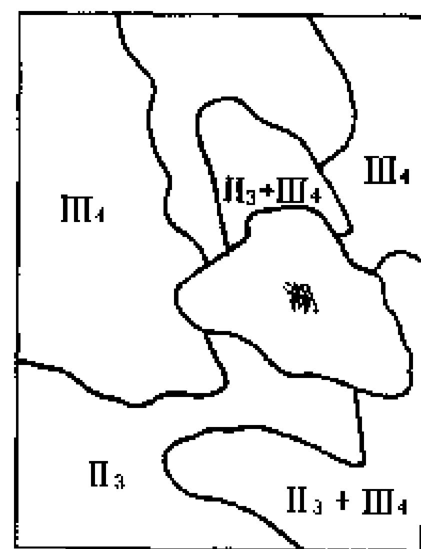


图5－37 用另一种图斑表示复域

图斑划分以后，类型图的编绘工作基本完成，经过比例尺的变换和晒制蓝图，转入绘图员的清绘作业，首先清绘类型界线，然后按图例填绘颜色和制作网纹。如果认为代码不可废弃，还要将代码标绘注出。

如果类型图的调查资料不是来源了遥感调查，则类型图便是从地图资料上编制一幅新地图的过程，这项工作将是第六章的讨论范围。

§4　等值区域制图

4.1　定量数据的特征

等值区域制图所反映的地理数据，和定性符号表示法截然不同。它的数据不是连续的而是离散的(统计值)，根据每一个统计单元及相对应的数据，选用了面状符号表示，以反映每一个统计单元数量上的差别。

用一个立体模型能够很好地象征等值区域制图的特点(图5－38)，a图是一个三维数据模型，多边形柱的高度与每个多边形数据的值成正比，每一个多边形都有一个水平层面，这样便组成了一个多边形柱群。当我们从垂直方向将多边形投影在一个平面时，可以得到b图的结果，在这张平面图上，每一个多边形范围内都是等值的。在b图内，表示代码为4的多边形柱最高，代码0的多边形柱最低，我们可以在代码4的多边形上涂绘较浓的颜色，逐渐降低至代码0的多边形颜色最浅，由此构成了一张在多边形内等值的区域图，多边形也就是统计单元。

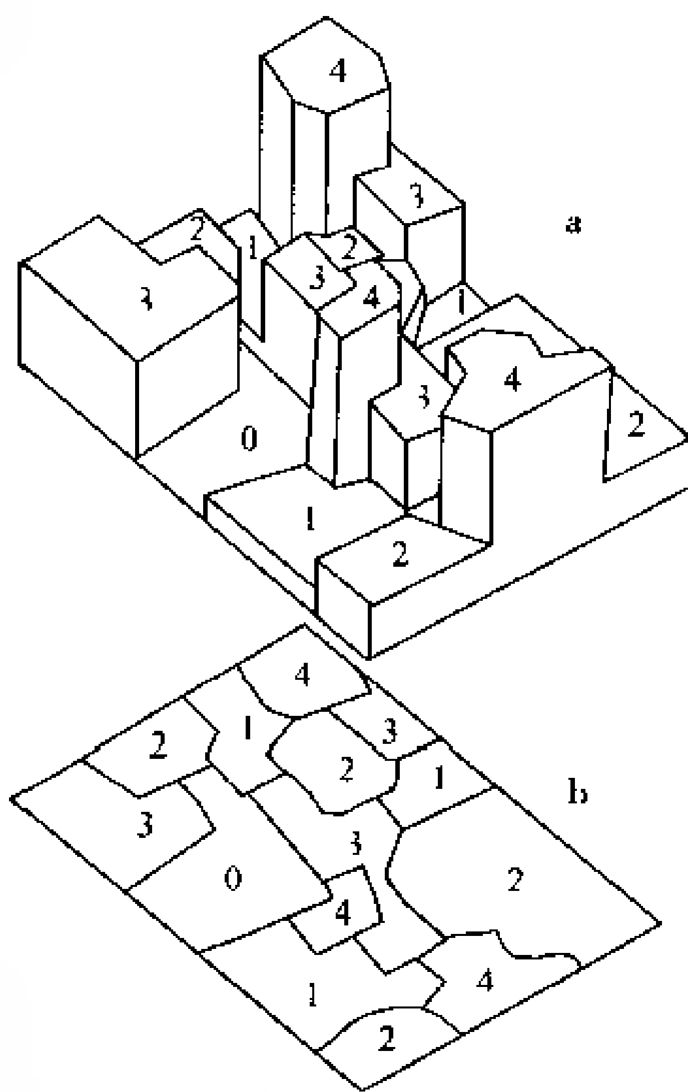


图5－38　等值的多边形柱模型

但是，等值区域图的编制在数据应用、表示方法和视觉感受方面都有一些限制。首先在采集的数据类型上，由于制图表示是以区域单元作为图斑单位，自然连续的地理数据如年平均气温不能用等值区域法表示；其次，如果数据不能用比值或比率量表处理，就不能采用等值区域法制图。常用的统计数据有两种：一种是总值，例如每个省的人口数；一种是相对值，例如每个省的人口密度(人/km^2)。当采用总值制图时，台湾省的人口数(设为2 000万人)与内蒙

古自治区的人口数相当。假如两者都用中等亮度的面状符号表示人口总数，显然不符合台湾省人口稠密的状况。所以等值区域法不宜于表示总值的制图。

和点状符号法相比，在数据处理上等值区域法也要分区、分级和采用比率量表制图，但两者的最大区别是：分区统计的点状符号一般代表的是各个分区的总值（图5－39）

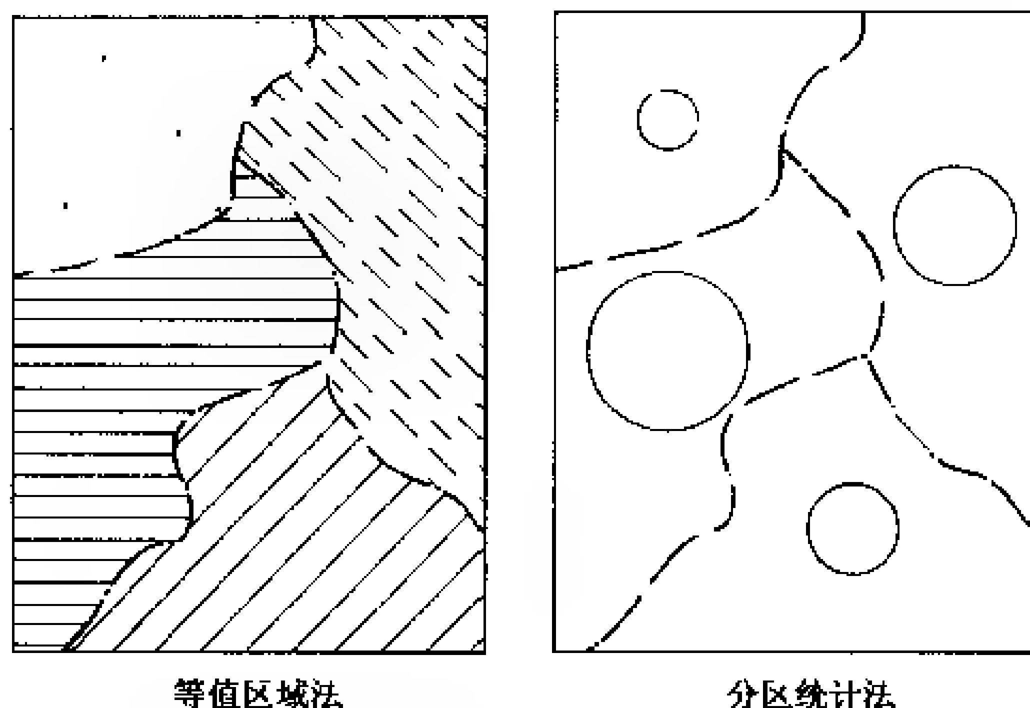


图5－39 等值区域法和分区统计法的区别

等值区域法由于在统计单元内采用一致的符号，使整个统计面都处于面状图斑状态下。因而在制图方法上更应注意符号所采用的色相、亮度和网纹的视觉效应。

4.2 数据的分级

当一个数值参差不齐的数组需要分级时，可有4种方法：

（1）外因分级 是选用与数据有关联的值将数据分成若干组。例如国民生活水平分为：a. 温饱型以下，年收入1千美元以下；b. 温饱型，年收入1～2千美元；c. 小康型，年收入2千美元以上。

在图5－40中，构成两个水平截面，数据依此划分为三级。

（2）平均分级 是将数据值等分，例如最高数据值为296，最低值为2，分级数为5。则将数据从最大值到最小值5等分（>240，180～240，120～180，60～120，<60），这种分级方法与数据的分布规律没有任何联系。

（3）序列分级 是根据数组分布特征和分级数，采取渐增或渐减的数值间隔为分级标准。如数组的数据频率符合渐变规律，则采用算术级数或几何级数使分级递变；若符合正态分布规律则采用标准差计算，以决定数组的分级

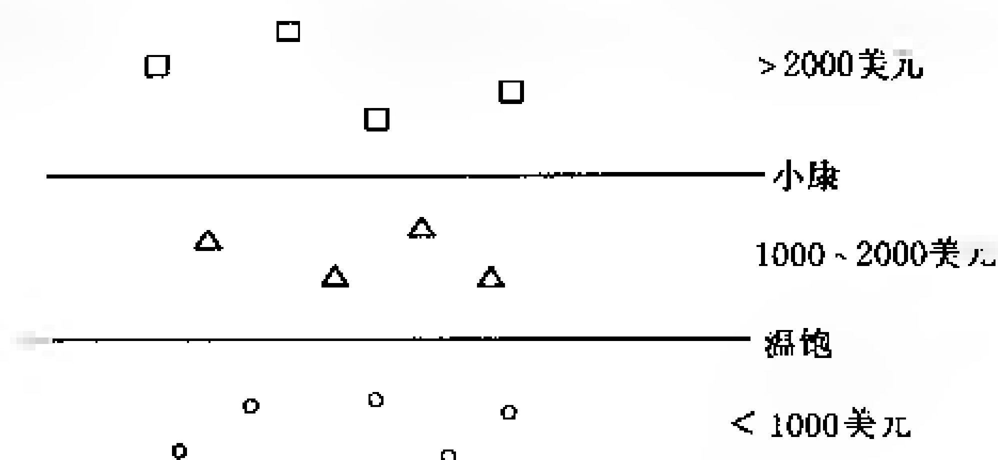


图5-40 外因的分级方法

间隔

(4)特殊分级 是根据数组的数据频率所反映的显著特征进行分级的方法,分级的数目并不由主观确定,而是参照数据频率曲线的变化决定。其常用方法有:比率法、裂点法、迭代法、分位数法、标准差法等,在此不再引申。近年来,在计算机制图中出现了不分级的等值区域图,这是因为计算机处理图形的速度很快,将统计单位的数据通过数/图转换会很准确地将统计值的栅格形式表示在屏幕或纸介质上,这等于把图形的解释、概括工作留给读图者而减少了主观分级。但如果制图的目的是为了传递经过分析的概念或专题,就需要对数据分组、分级,对复杂的数据进行简化。

4.3 等值区域图的符号化

当分级间隔选择以后,就应讨论等值区域单元的符号化。这种面状符号适宜采用的视觉变量是亮度以及网纹中的纹理、排列和方向,必要时彩度也可以采用。而形状和尺寸变量是不起作用的。

亮度是某一种色相的浓淡渐变过程,使图形的分级间隔产生数量的等级感,手工制图时,一种色相的亮度等级可通过多次涂盖浅淡的颜色获得。采用计算机制图或制作印刷版时,亮度体现在网纹的纹理变量之中。但采用亮度或纹理区分等级时,它的视觉感受不随亮度值呈线性变化,在第四章§4中已作过论述:等亮度间隔色块和它的光反射率之间呈非线性关系,因此,利用亮度制作分级间隔的梯尺时,要进行亮度值的改正。

网纹中的方向变量也常用于等值区域图的设计,这时分级间隔中的低值采用符号间隔较宽的方向线,高值则采用其他方向(交角45°或90°)间隔较密的方向线(图5-41)。但网纹中的排列变量不适用于等值区域制图。

制作等值区域图要注意地理底图的设计。和定性面状符号一样,等值区域符号因要覆盖在全部制图区域上,制图单元的图斑和行政界线重合,因而影响地

理底图的显示。等值区域图上的地理要素，除了区域单元的境界线和相应居民点均应表示外，还应根据制图的目的，或强调水系的显示，或强调道路网的显示保持地理底图内容负载量的适度，是等值区域图制作的准则

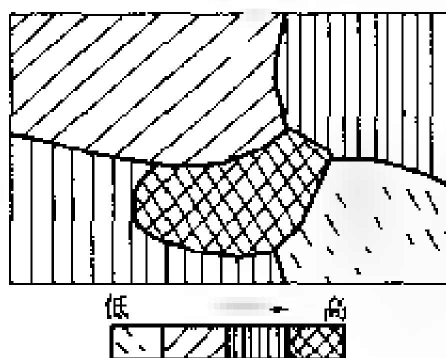


图5-41 网纹中方向变量的应用

§5 地理数据视觉化的进展

5.1 地理数据视觉化的含义

地图从开始形成便是图形化的产物，是将现实世界的空间信息以抽象的图形再现在维平面上。

我们可以举出视觉化优越性的许多例子，如数学上称为正态分布的随机变量 x 的密度函数曲线(图4 7)的表达式是：

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty, \sigma > 0) \qquad (5-1)$$

式中，σ，μ 为决定密度函数的两个参数；e 为自然对数的底(=2.718 28)。

而表示这一公式的视觉化图形则如图4 7

对比之下，你会感到正态分布的视觉图形比它的表达式容易理解。

再如，所有的地图投影图形都是投影公式的图形化表达。有了投影格网，人们得以将地理数据转绘在地理坐标上，从而产生现代地图。地图就是地理数据的图形化表达。

由于传统的工作方法，长期以来制图都是静态的，我们对从野外调查得到的类型图 分布图等资料，或从统计数据描绘为图形的过程，只称为图形化而不称做视觉化。

科学的视觉化是近十几年内发展起来的高新技术，属计算机图形学的一个领域。它是科学研究中的一种分析工具，是在不同层次上进行信息传递的手段，是在研究者之间传递分析结果和向公众传递建议、策略的途径 最早提出科学视觉化的是美国科学基金会在1987年发表的一份报告，该报告认为如果美国许多超级计算机要充分发挥作用的话，必须开展视觉化研究。

伴随着计算机图形技术、图像处理技术的发展，地图工作者正在面向数字化制图环境地图的数据源不止是来自地理数据库，全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)将

直接向数字地图传递数据。

B.P Buttenfelds 和 W A Mackaness 1991 年界定了视觉化的含义,他们认为:"视觉化是为识别、传输和解释模式或结构目的而概要地表示信息的过程,它的研究领域包括了创建、组织和理解这表示的计算、认知和图形设计方面,表示可以被符号化 图形化 形象化地解释,而且区别于那些文字和公式化的表述"

视觉化可概括为:为视觉思维而进行的图形表示过程

D R F 泰勒提出[1],视觉化当然从属于计算机的新技术,但是在其应用中需要艺术技巧、想象力和直觉 完成视觉化的过程,除了计算机技术作为它的基础外,新的显示技术 传递,分析与应用 认为不能排除在外(图5-42

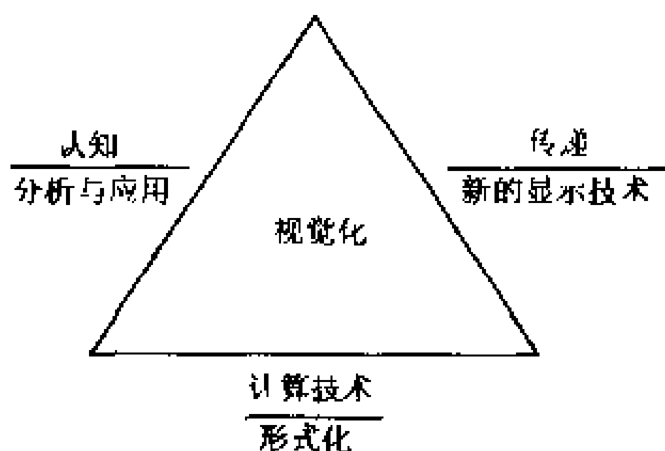


图5-42 泰勒关于视觉化的模型

我国学者对视觉化进行了研究后提出,地图视觉化的特点集中体现在动态性、交互探究性和超媒体结构 方面:[2]

(1) 动态性 地理现象本身是动态的而不是静止的 动态性主要是时间维的引入而不仅是地图符号可以在屏幕上闪烁或旋转,从而构成时间显示的动态地图。

(2) 交互探究性 在GIS探究分析的过程中,地理数据可以灵活地被检索,地图图形表示可以交互地被改变。例如设计 个等值区域制图的模式,在屏幕上用户可以根据自己的经验改变分级方案、分级参数,优选显示的图形。由于这种不断变化着的交互探究,潜在的模式和数据异常会被发现成为最有价值的模型。

(3) 超媒体结构 它一改传统地图中同 种数据集合只有 种制图者认为最佳的图形化方案 因为 幅地图的内部结构要比 个文本来得复杂,所以研究者应着眼于以地图为主,把 个地图视觉化的方案扩展至多视角图形、视频和声音,从而提供 种浏览不同形式信息的超体结构。

科学进步是急剧发展的,世纪之交的这场科学变革会给现代地图带来新的生命。

5.2 在视觉化中色彩的应用

色彩在地图编制中是最活跃的视觉变量,它能反映定性数据或定量数据的视觉差异,也能表达分散的或连续的数据组合。但对它们间的交互作用却研究得不多。

贝列维尔(C.A Brewer)在比较了 批学者对色彩变量的分析以后,提出了视觉化中色彩应用的准则[3],图5-43是作者对单项变量或双项变量的彩色应用图解

① D R F 泰勒 地图学的概念基础 信息时代的新方向 地图,总第25期,1992年,第2期
② 江斌,胡毓钜 地图视觉化 —现代地图学的核心 地图,第37期,1995
③ 参阅文献4中 C A.Brewer Color Use Guidelines for Mapping and Visualization 文

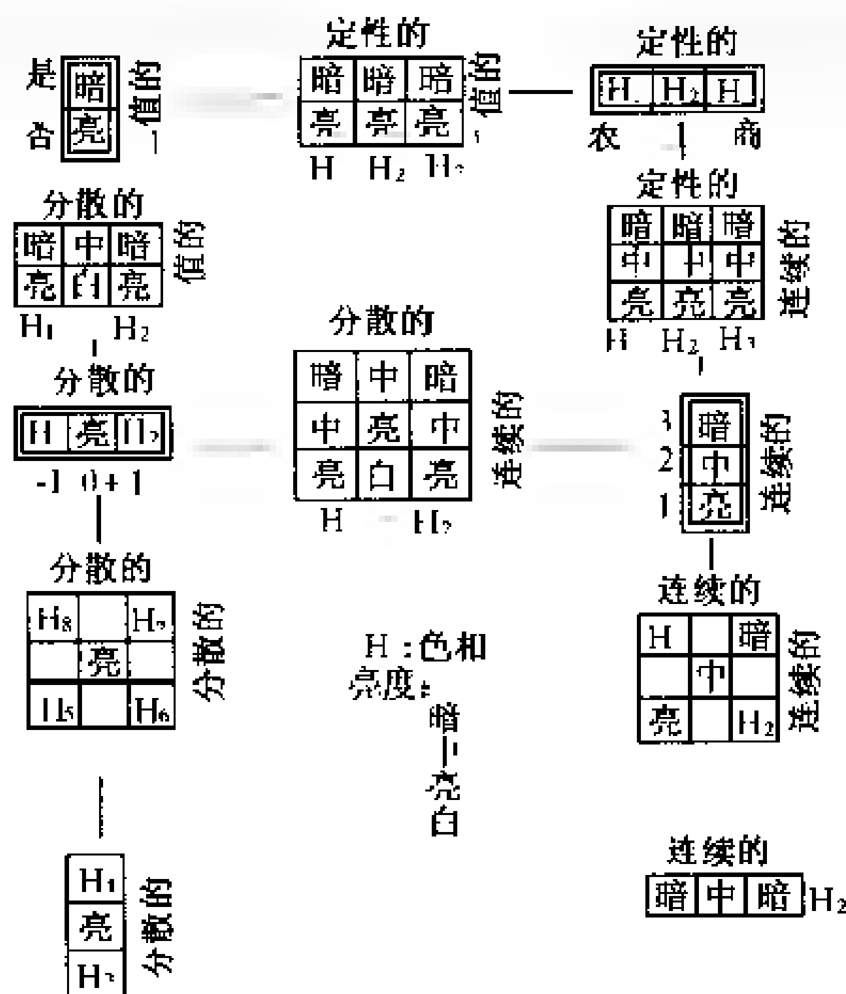


图5 43 单或双项变量的彩色应用图解

贝列维尔认为,制约地图彩色应用有四种组合类型：二值的、定性的①、分散的和连续的：

(1) 二值的 仅表示是或不是、暗的或亮的。

(2) 定性的 可以表示不同类型、不同产业部门的制图对象,例如：农业、工业、服务业；大豆、花生、稻米。

(3) 分散的 同一组数据是任意排列的,例如：暗的、中间的、暗的；3～5、8～17、25～29。

(4) 连续的 同一组数据是连续分布的。例如：暗的、中间的、亮的；3～8、8～15、15～30。

除上面四种单项变量,即传统的制图方法外,双项变量的构成有：

定性的/二值的；定性的/连续的；连续的/连续的；分散的/连续的；分散的/分散的；分散的/二值的。

单项变量的制图方法已在前几节中作了阐述,而双项变量的设计更加吸引用图者的关注,为此介绍其中两种双项变量的图解特征：

彩图5－1表示了某县的民营企业资本的统计。如图5 44所示,这是一个连续的/连续的双变量彩色图解。纵向坐标和横向坐标的数据都是连续的,采用

① 或是定名的

的色相纵向和横向都产生彩度上的渐变,但是由两种色相交叉组成。

彩图5-2表示了某县大豆、油菜两种油料作物的生产指标,在一个地区的两种作物分布百分比是相互消长的,这种图解也称作双变量平衡图解,如图5-45说明两种变量分布消长的数值,可以采用多种色相表示,如再加上不同的彩度会使图幅更具美感。

视觉化的彩色图解,使数据和概念并存,而不同的图解方法可以展现数据的分布特性和它的相互关系,应用计算机制图时,允许利用数据的转换达到交互探究数据本质的目的

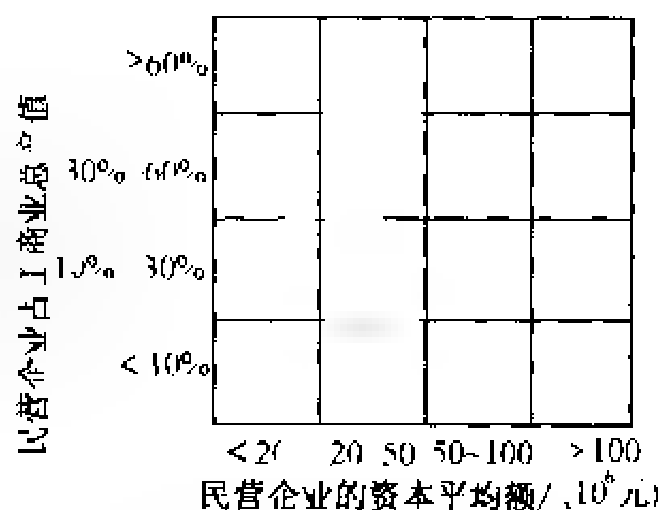


图5-44 连续的/连续的彩色图解

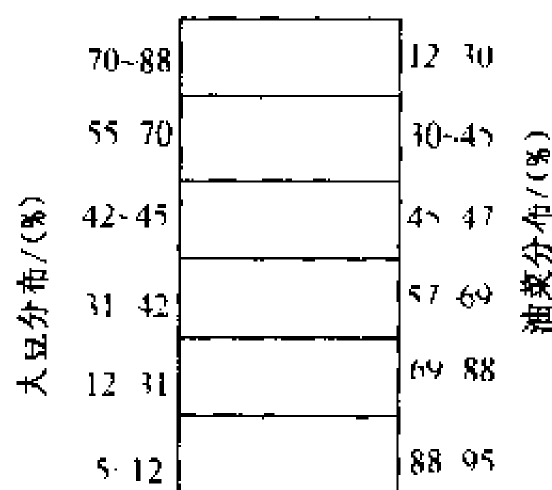


图5-45 连续的平衡图解

5.3 动态符号的应用

动态符号的特征是具有时间维的显示。自从计算机图形学的兴起,遥感图像用于地学调查与分析日益发展,动态符号得到广泛的应用。下面介绍几种顺序产生的动态符号系列。

1. 位置的顺序图幅

它是对区域数据采用逐年的统计方法产生的图形系列。如图5-46为西安市自1930年起在相同位置上城市扩展的图形。当这些图形被编入电子地图集内,显示的过程能产生动态效应。

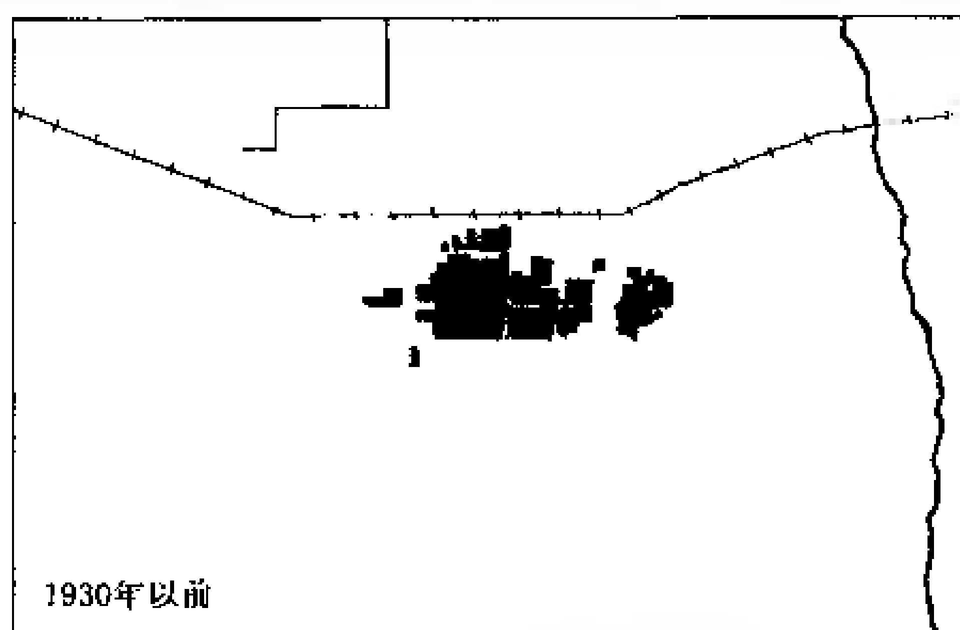
2. 时间的顺序图像或统计图幅

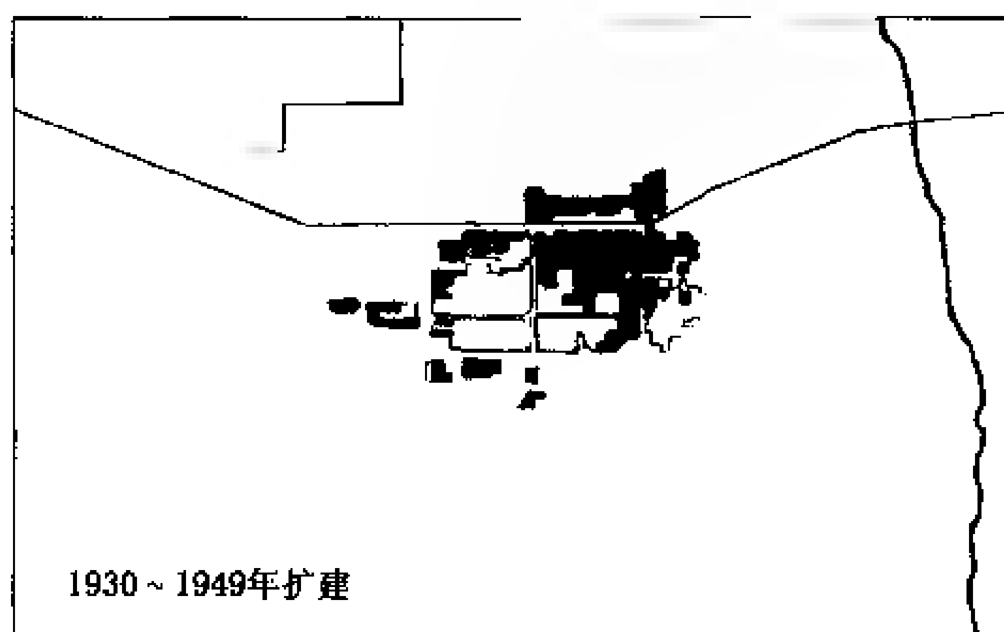
它是对某一事件(台风路径、地震、林火覆盖、金融风波等)的时间、地点进行寻踪的动态符号。图像在显示器中生成时,它是以栅格数据形式出现的,既可以进行符号化,也可以不加符号化处理便可公诸于众(图5-47)。按照事件的特定时间编辑的统计数据,符号化以后可以在电子屏幕上显示,也可以拷贝出经过栅格/矢量转换后的矢量图形。

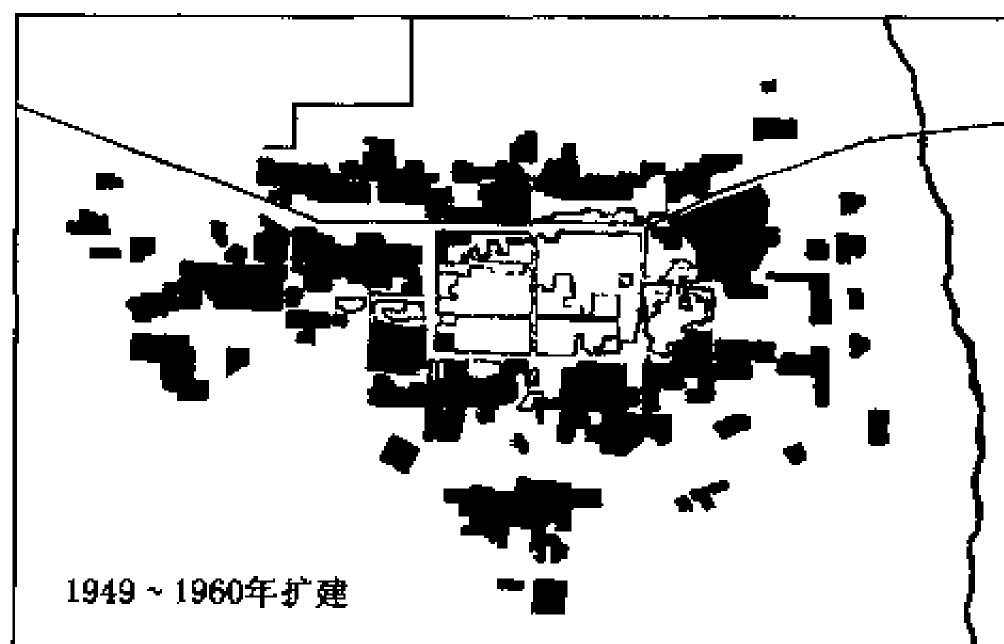
3. 建立屏幕显示的动态符号模式

视觉化为数据的动态显示提供理论和实践的工具。国内学者提出区别于静

态制图的视觉变量[1]，这些动态符号的四个视觉变量是：







① 参考文献8

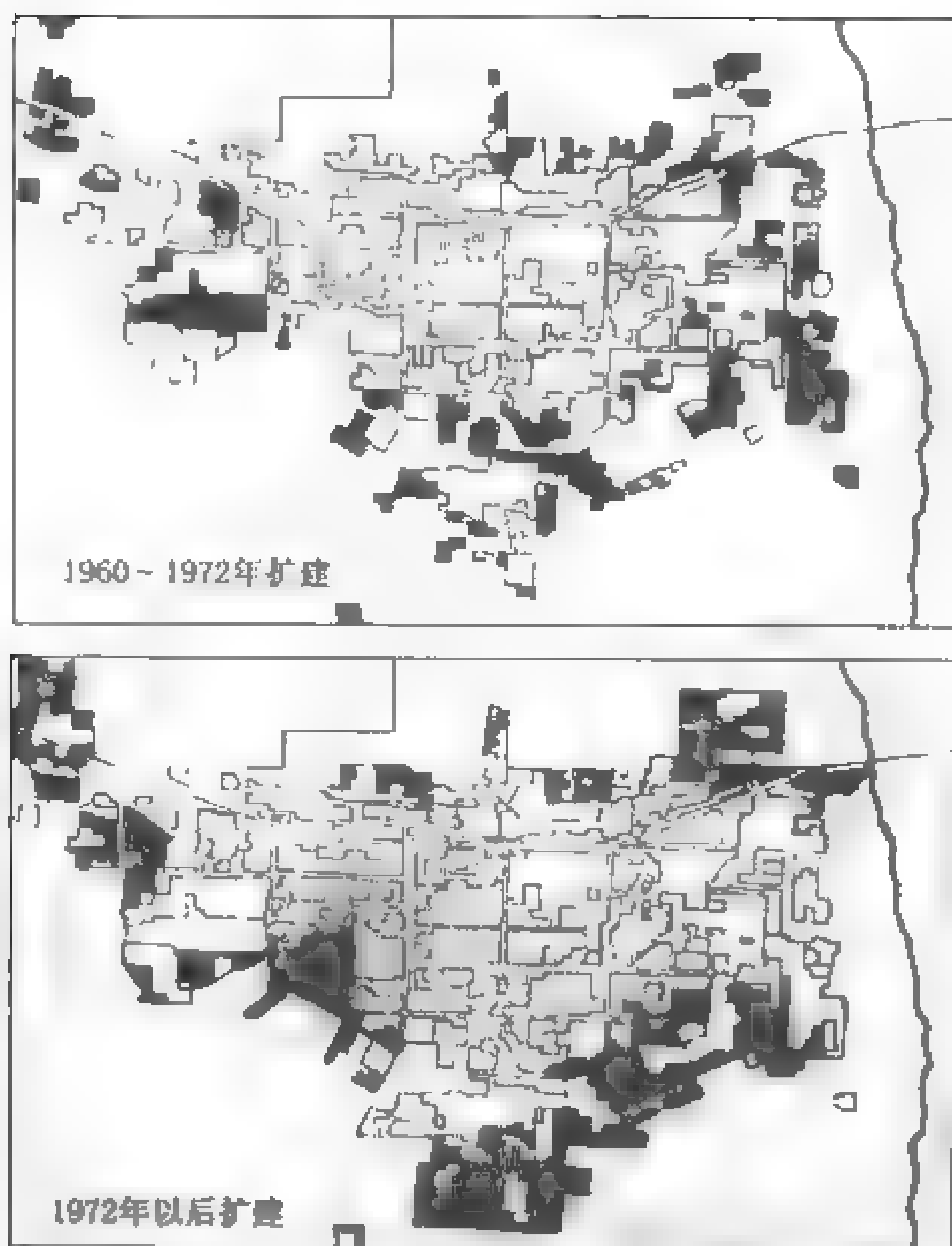


图5-46 位置的顺序图幅



图5-47 影像图幅

(1) 发生时长 是读者从视觉上感知符号的存在到符号消亡的持续时间。发生时长反映了事件在时间轴上的延展，与事件在空间 x,y,z 轴上投影覆盖的范围是一致的(图5-48)。

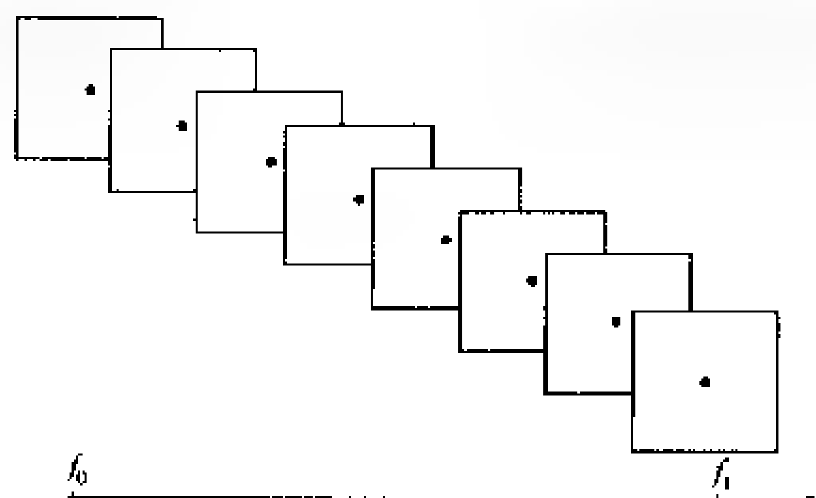


图5 48 符号的发生时长

(2) 变化速率 它描述动态符号所处变化状态的速率,是一个复合变量,需要借助于符号的其他变量表述(图5 49)。

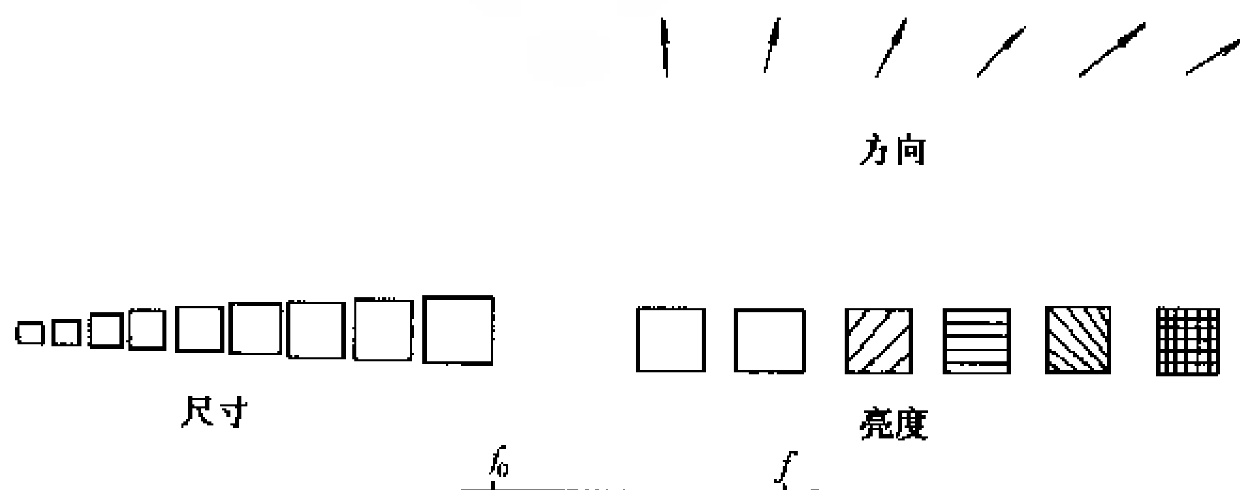


图5 49 符号不同变量的变化速率

(3) 变化次序 它描述符号的状态改变过程,每一帧都是动态符号的一个组成部分,因此可以对每一帧的状态进行处理,使它们能有序的出现。例如用色相灰一淡红—红一蓝—淡蓝一灰表示天气由阴到晴,再由晴到阴。升序对应于显著性增强,降序对应于显著性减弱。

(4) 节奏 它描述符号周期性变化的特征。节奏变量可以进一步分为周期(频率)和振幅。如图5 50所示振幅对应于地理现象变化的峰值,周期对应于变化速度。

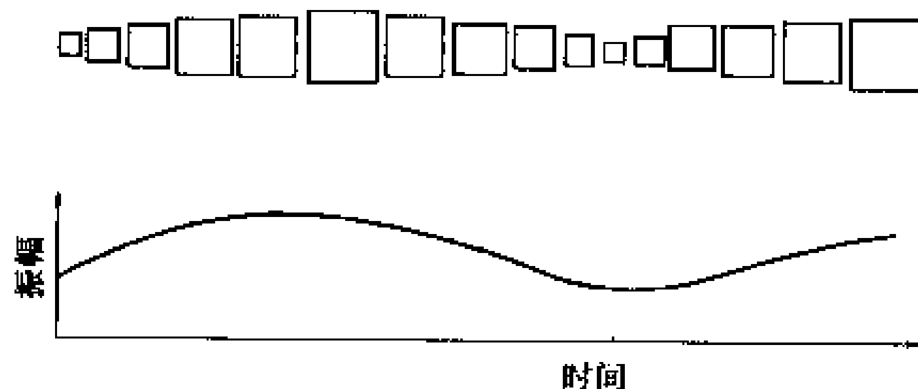


图5 50 动态符号的节奏变化

归纳起来，动态符号在地图编辑中可以表示三方面的信息内容：空间定位、属性特征、空间位置上属性的时态变化。前两者主要通过动画技术加强符号的视觉感受，后者则是动态符号在视觉化上的真正应用。

本章提要

本章讨论的主要是静态地图，它把地理数据当作阶段成果的总结看待，或者只涉及一个瞬间的地理现象。

然而，从方法论方面考虑，本章所提供的制图方法，又是地理数据视觉化的基本方法。

点状符号可以构成定位的或位置的地图，前者指的是按符号 x,y 定位的，但是符号的结构是多种多样的；后者是指符号代表一个区域单元，它定位在这个区域单元的重心上。

线状符号是相当活跃的制图要素，可以使人联想到它是在不断运动着。一些符号严格定位在数据的地理位置（Σxy）上，而另外一些符号仅能表示数据的起止位置。

面状符号制图反映了定性数据和定量数据的不同特征，前者的数据来源于实测的地理现象，或从图像中解译和调查得来，后者多数是统计值，不依赖于空间信息。

体积符号往往容易和点状、线状符号混淆。这里着重指出：点值法是以点反映量，等值线法是以线反映连续的面，这样就能分清体积符号的实质了。

概述了视觉化的含义，介绍了几种地图符号的可变互性、动态性图形。

练习思考题

1. 对圆形、正方形、三角形、六角形视觉效果进行比较，设圆形的面积为 $100mm^2$，请在旁边制作相同面积的正方形、三角形、六角形。

2. 将表5－1的数据，设计成球状符号，然后和 Meihoefer 值域分级圆中相邻5个比例圆作比较，分析它们的视觉效果。

3. 下表是北京—天津—南京—上海之间货物的种类和月运输量，请设计一张运输路线图。

4. 从点状符号图和分区统计图的对比中，总结出它们的异同。

5. 比较一下类型图和范围图的异同。选择一张底图，你能够设计两种图的样式吗？

表 运输量(吨/月)

地 点	方 向	化 工	食 品	煤 矿	方 向	水 产	生 丝	化 工
北京	↓	176	548	1046	↑	97	12	179
上海		497	312	718		45	8	87

6. 比较一下分区统计图和等值区域图的异同，选择一张底图，你能够设计两种图的样式吗？

7. 比较一下点值图和等值线图，这两种图的表示方法是可以互换的，请你设计一张从点值图转换成等值线图的样式。

8. 通过你的日常观察，举出一种视觉化的制图现象。

参 考 文 献

1 A H 罗宾逊等.地图学原理.第五版 .北京:测绘出版社,1989

2 BD Dent 专题地图设计原理.北京:解放军出版社,1990

3 A H Robinson et al. Elements of Cartography. 6th ed. John Wiley & Sons Inc, 1995

4 A M MacEachren, D R F Taylor Visualization in Modern Cartography. Pergamon, 1994

5 M P Peterson. Interactive and Animated Cartography. Prentice Hall, 1995

6 B D Dent. Principle of Thematic Map Design. 2e(本版增加定性数据制图). W C Brown Publisher, 1990

7 D R F 泰勒.地图学的概念基础:信息时代的新方向.地图,第 25 期,1992

8 艾廷华 动态符号与动态地图.武汉测绘科技大学学报,1998 年,第 1 期

第6章

地图图型

地图图型是指按照某种指标，对地图所划分的类型。例如：把地图分为普通地图与专题地图两大类。普通地图又分为地形图和地理图两种类型 专题地图可以分为自然地图、社会经济地图、环境地图及其他专题地图等类型。这些是按内容划分的地图图型。除了以内容作为通常所采用的指标外，还可以按比例尺、要素或现象的概括程度等进行划分。

普通地图是用相对平衡的详细程度来表示地球表面的地貌(地形)、水系、土质植被、居民点、交通网、境界线等自然地理要素和社会人文要素一般特征的地图。专题地图是把专题现象或普通地图的某些要素在地理底图上显示得特别完备和详细，而将其余要素列于次要地位，或不予表示，从而使内容专题化的地图。普通地图和专题地图都是为经济、国防、科学研究、行政管理、文化教育等服务的资料和工具，普通地图还可作为编制专题地图的基础底图 由于比例尺和具体用途的不同，各种地图在内容的详略程度上有很大的差别。

§1 普通地图的内容要素及其表示

1.1 普通地图的类型及其内容

普通地图按比例尺和内容详细程度不同，分为地形图和地理图两种类型

1. 地形图

地形图通常是指比例尺大于1:100万，按照统一的数学基础、图式图例，统一的测量和编图规范要求，经过实地测绘或根据遥感资料，配合其他有关资料编绘而成的一种普通地图。它的几何精度高、内容详细。在这种普通地图上，可以提取比较详细的地形信息，如地面的实际高度、坡度、坡向、起伏状况、切割密度、切割深度、形态类型等 地形图的地貌要素主要用等高线表示，其他地物则按统一规定的图式符号、注记加以表示。(彩图6-1)即为1:1万地形图的一块样图。

2 地理图

地理图是指概括程度比较高,以反映要素基本分布规律为主的一种普通地图。地理图的地貌要素多以等高线加分层设色表示,有的还配以晕渲,加强立体感。地物因地图的概括程度比较高,多以抽象符号表示(彩图6-2)。

在这里应该明确一点,即地形图与地理图不能简单以比例尺划分。尽管在实践中,地理图以小比例尺居多,但往往也有一些大中比例尺的普通图,如县、市级的普通地图。这类地图虽然比例尺比较大,但内容的概括程度也比较高,所以仍不能称为地形图。

1.2 自然地理要素的表示

水系、地貌(地形)、土质与植被统称为普通地图上的自然地理要素。20世纪60年代以来,由于科学技术的发展和各国对海洋资源的进一步关注,尤其是一些大国之间对海洋的争夺日益加剧,从而引起世界各沿海国家纷纷加强对海上疆域和海底资源的重视与保护,也促使普通地图上将海洋作为一种独立要素加以单独表示。

由于地形图上各种要素的表示已经有统一的编图规范和图式图例,在此侧重介绍地理图上各种要素的表示。

1. 海洋要素

普通地图上表示的海洋要素主要是海岸、海底地形,以及冰界、洋流、航行标志等。作为地理图,表示的重点是海岸线及海底地形(图6-1)。

(1) 海岸的表示 在地理图上表示海岸线,要针对不同的海岸基本类型及特征,给予不同的表现方法。海岸线通常以蓝色实线表示,低潮线用点线概略绘出。在海岸线以上的沿岸地带,主要通过等高线或地貌符号表示。在沿海地带,主要表示沿岸岛屿和海滨沙嘴、潟湖等。在小比例尺地理图上,以不同形状的概括图形来区分岩岸、沙岸、泥岸等,以蓝色小点表示沙洲、浅滩,以红色珊瑚礁符号组成不同的图案表示裙礁、堡礁和环礁。

(2) 海底地形的表示 海底地形的基本轮廓可以分为三大基本单元,即大陆架(大陆棚)、大陆坡(大陆斜坡)、大洋底。它们通常是通过水深注记、等深线加分层设色来表示。三个基本单元的深度,大陆架一般为0~200m;大陆坡一般为200~2 500m;大洋底一般为2 500~6 000m。海洋水深的起算面与陆地高程的计算方法不同,不是采用平均海平面来计算,而是根据长期验潮数据求算出来的理论上可能最低的潮位面,即所谓的根据理论深度基准面作为计算海深的基准面

2. 陆地水系

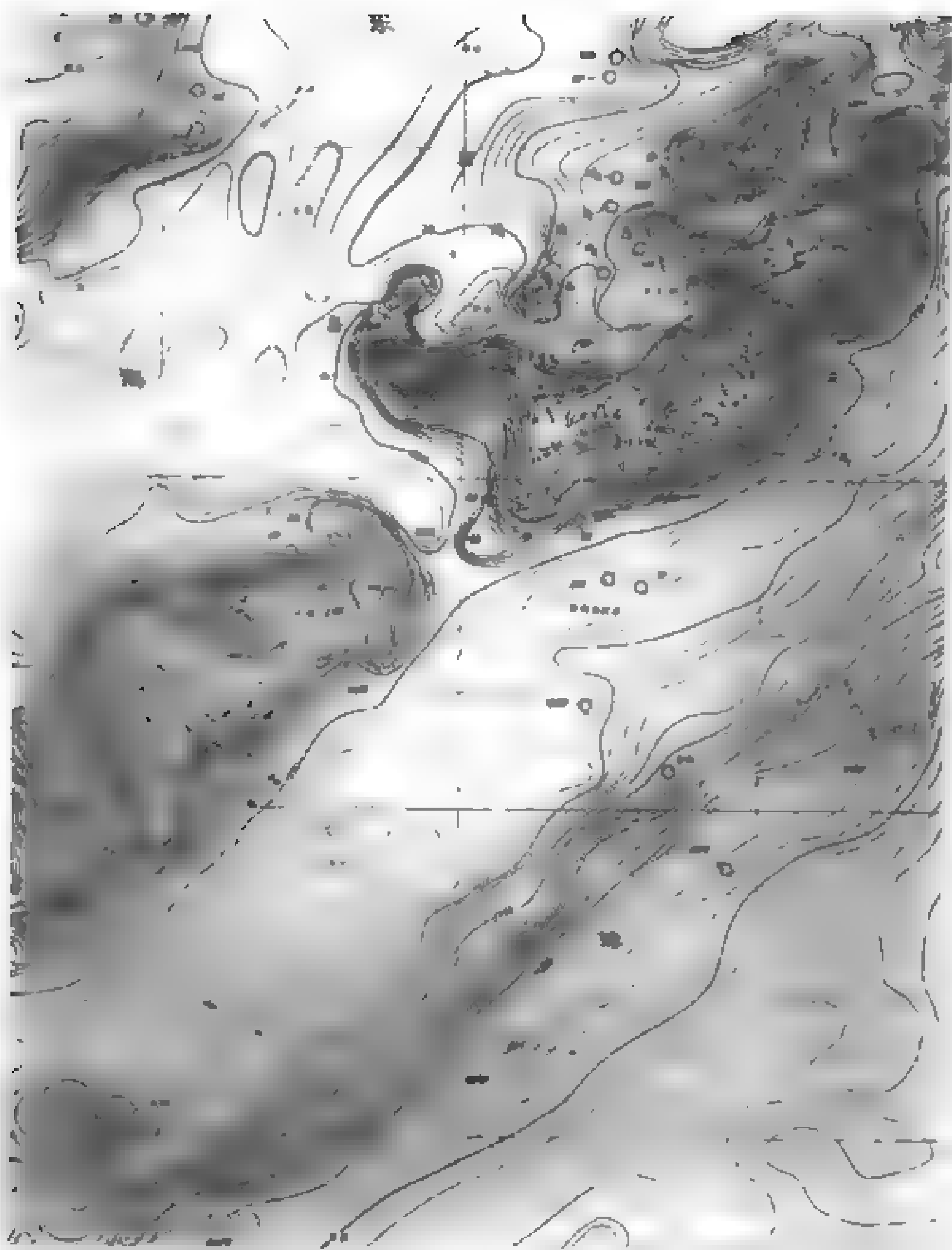


图6-1　普通图中的海洋要素

陆地水系是指一定流域范围内，由地表大大小小的水体，如河流的干流、若干级支流及流域内的湖泊、水库、池塘、井泉等构成的脉络相通的系统。水系是地理环境中重要的组成要素；水系对反映区域地理特征具有标志性作用；水系对居民点、交通网的分布和工农业生产的布局等有显著的影响。同时，水系是空中和地面判定方位的重要目标。从地图制图角度考虑，水系是地图内容的控制骨架。因此水系是地图上重要的表示内容(图6-2)。

(1) 河流的表示　在普通地图上表示河流，必须搞清区域的自然地理特征及河流的类型，才能使水系的图形概括更科学、合理。在表现方法上，以蓝色线状符号的轴线表示河流的位置及长度，以线状符号的粗细表示河流的上游与下

游、干流与支流的关系。与河流相联系的还有运河和干渠，在地理图上一般只以蓝色的单实线表示。

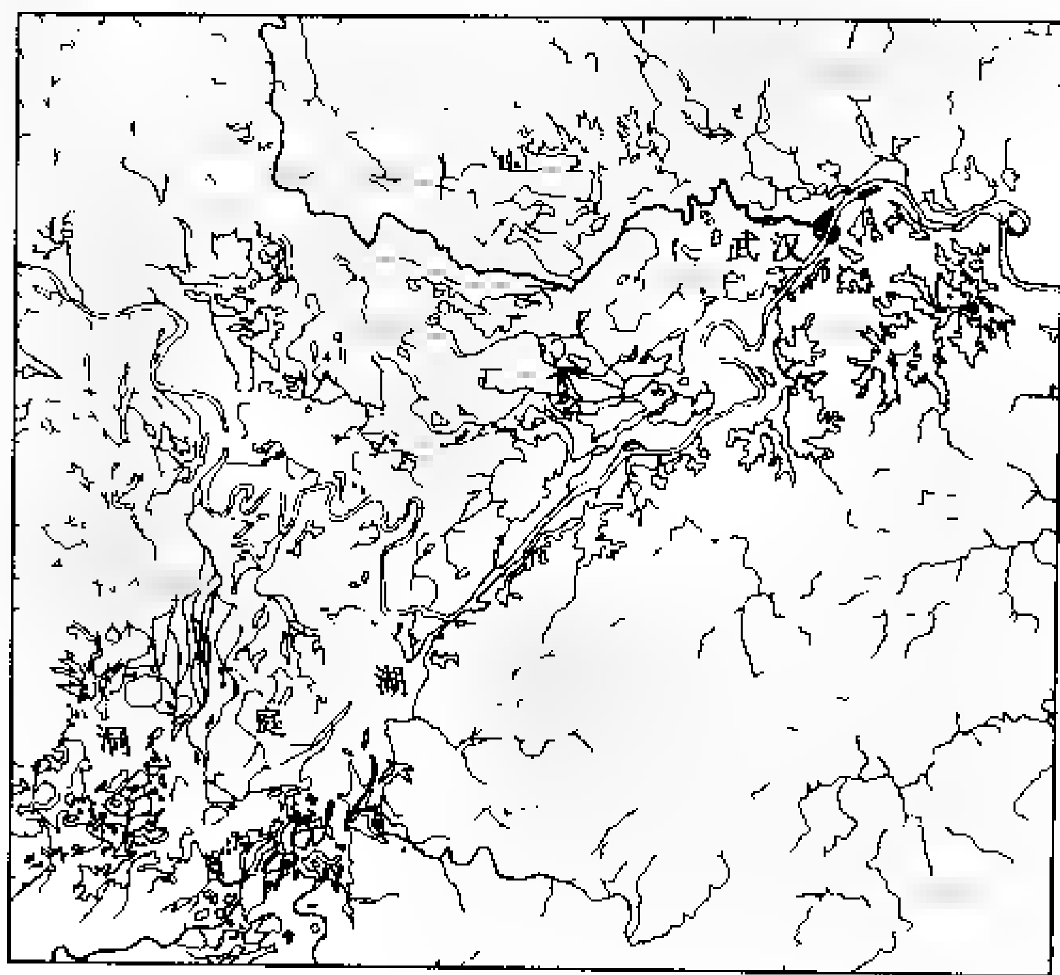


图6-2 陆地水系的表示

(2) 湖泊的表示 湖泊是水系中的重要组成部分，它不仅能反映环境的水资源及湿润状况，同时还能反映区域的景观特征及环境演变的进程和发展方向。在地理图上，湖泊、沼泽是以蓝色实线或虚线轮廓，再配以蓝、紫不同面色加以表示的。通常用实线表示常年积水的湖泊，用虚线表示季节性出现的时令湖。湖泊的水质，可用不同颜色加以区分。

(3) 水库的表示 水库是为饮水、灌溉、防洪、发电、航运等需要而建造的人工湖泊。由于它是在山谷、河谷的适当位置，按一定高程筑坝截流而成的，因此在地图上表示时，一定要与地形的等高线形状相适应。在地图上能用真形表示的，则用蓝色水涯线表示，并标明坝址。对不能依比例尺表示的，则用符号表示。

(4) 井、泉的表示 井泉虽小，但它却有不可忽视的存在价值。在干旱区域、特殊区域(如风景旅游区)地图上，用点状符号加以表示。

3 地貌要素的表示

地貌要素是地理环境中的重要组成部分：它能造成地表其他自然地理要素在垂直方向和水平方向产生局部差异，例如地貌结构在很大程度上影响着水系的发育和空间结构特征；它对社会、人文要素的空间分布与发展具有明显的影响，例如居民点、交通网、工农业生产的布局；它也是国防建设和军事行动中影响军事设施布局、阵地选择、兵力部署、行军作战的重要因素。因此它是普通地图

上最主要的表示要素之一。到目前为止，常用表示方法主要有以下三种：等高线法、分层设色法、晕渲法。

（1）等高线法 这是用高程等值线，即等高线定量表示地貌起伏的一种方法，它通过等高线的组合来具体反映地面的起伏大小和形态变化。用等高线表示地貌的定位精度，取决于等高线的获取方法及地图比例尺。运用航测方法获得的真实连续的等高线定位精度高，野外测得高程点后再用插绘获得等高线的定位精度就较前者低；地图比例尺大、概括程度低，等高线的定位精度就高，比例尺小、概括程度高，等高线的定位精度就低。用等高线法表示地貌形态的详细程度，主要取决于比例尺或等高距的大小。各种比例尺地形图所对应的等高距大小如表6－1所示。

表6－1 各种比例尺地形图等高距

地形图比例尺	等高距/m	
	平原、低山区	高山区
1∶10 000	2.5	5
1∶25 000	5	10
1∶50 000	10	20
1∶100 000	20	40
1∶250 000	50	100
1∶500 000	100	200

随着地图比例尺的缩小、等高距的扩大，等高线图形更加概括，等高线的作用将逐渐以反映地形的基本特征为主，不能依据它量测地面的实际高度和坡度。小比例尺地图，常因制图区域范围广，在比例尺相同的地形图上，可能包括各种地形类型，如平原、丘陵、山地，若用固定等高距，难以反映出各种地形情况，故采用等高距随高程增加而逐渐增大的方法。

等高线法表示地形的缺点是立体感较差，因此对等高线图形立体显示方法的研究一直在不断地进行。如明暗等高线法，就是使每一条等高线因受光位置不同而绘以黑色或白色，以加强立体感；粗细等高线法，是将背光面的等高线加粗，向光面绘成细线，以增强立体效果。

（2）分层设色法 分层设色法是在等高线的基础上根据地图的用途、比例尺和区域特征，将等高线划分一些层级，并在每一层级的面积内普染不同的颜色，以色相、色调的差异表示地势高低的方法。这种方法加强了高程分布的直观印象，更容易判读地势状况，特别是有了色彩的正确配合，使地图增强了立体感（彩图6－2）。

分层设色法在设色时要考虑地貌表示的直观性、连续性和自然感等原则：如以目前普遍采用的绿褐色系列为例，平原用绿色，丘陵用黄色，山地用褐色；在平原中又以深绿、绿、浅绿等三种浓淡不同的绿色调显示平原上的高度变化；高山(5 000m以上)为白色或紫色；海洋部分采用浅蓝到深蓝，海水愈深，色调愈浓。这种设色系列把色相与色调结合起来，层次丰富，能引起对自然界色彩的联想，效果较好。

由于分层设色法使地图图面上普染了底色，因此底色上某些要素的色彩会发生变化或不够清晰，深色层面上的名称注记不易阅读。

(3) 晕渲法　晕渲法也叫阴影法，是用深浅不同的色调表示地形起伏形态(图6-3)。按光源的位置，可以分为直照晕渲、斜照晕渲和综合光照晕渲；按色



图6-3　晕渲法表示地貌(白头山火山及熔岩高原)

调可分为墨渲和彩色晕渲。晕渲法由于具有较好的立体效果，应用范围很广，在一些需要突出显示地形要素的中小比例尺地图，如政区图、交通图、航空图等常采用晕渲法表示地形。近年来有些国家(如前联邦德国、瑞士等)还用于中比例尺地形图上，或供科研用的地理基础底图上(如1:150万自然地理基础底图)。晕渲法也常与等高线法、分层设色法联合使用。

普通地图上有一些特殊地貌现象，如冰川、沙地、火山、石灰岩等，必须借助地貌符号和注记来表示(图6-4)。

4. 土质和植被

普通地图上表示土质、植被的目的，主要是为了向用图者提供区域地表覆盖的宏观情况，因此表示得比较概略，而且与专题地图上表示的土壤、植被有着截

名　称	符　号
沙地地貌 1　平沙地	平沙地
2. 多小丘沙地	多小丘沙地
3. 波状沙丘地	波状沙丘地
4　多垄沙地	多垄沙地
5　窝状沙地	沙窝地

图6-4　特殊地貌现象的表示

然不同的含义。普通地图上表示的土质并不是地学中所称谓的土壤，而是指地表覆盖的性质，如山区的裸岩、冰川，平原上的沙地、沼泽地和盐碱地等。通常习惯将裸岩、冰川、沙地划归地貌的表示内容，因此要表示的内容就更为简单了。植被是指植被覆盖的总称，分天然植被与人工植被两大类。天然植被中最主要的是森林，其他还包括幼林、灌木林、竹林、草本植物等；人工植被主要有经济作物地、果园、稻田等。小比例尺普通地图上的森林，用绿色表示。

1.3　社会人文要素的表示

居民点、交通网、境界线统称为普通地图上的社会人文要素。在地理图上的表示方法是：

1. 居民点

居民点是人类由于社会生产和生活的需要而形成的居住和活动的场所。因此，一切社会人文现象无一不与居民点发生联系。居民点的内容非常丰富，但在

普通地图上能表示的内容却非常有限。特别在地理图上，主要表示居民点的位置、类型、人口数量和行政等级。

(1) 居民点的位置 在地理图上，除县市以上居民点在地图比例尺允许的情况下，有可能用简单的水平轮廓图形表示外，其余绝大多数居民点均概括地用圈形符号表示具体位置。

(2) 居民点的类型 在我国地图上居民点只分为城镇居民点和乡村居民点两大类。城镇居民点包括城市、集镇、工矿小区、经济开发区等，乡村居民点包括村屯、农场、林场、牧区定居点等。不同的居民点类型在地理图上主要通过字体来区别。乡村居民点注记一律采用细等线体表示，城镇居民点注记基本都用中、粗等线体表示。但县、镇(乡)一级的居民点注记也有用宋体表示的。

(3) 居民点人口数量 在地理图上居民点一般通过大小不同的圈形符号加以区分。为了清晰易读，圈形符号的等级不能设置过多。分级界线的确定，应遵循以下三点原则：第一，反映居民点的类型；第二，反映居民点的分布规律；第三，分级的间隔应该连续完整，如1万以下，1~5万，5~10万，……

(4) 居民点的行政等级 我国居民点的行政等级分为：首都所在地；省、自治区、直辖市人民政府驻地；市、自治州、盟人民政府驻地；县、自治县、旗人民政府驻地；镇、乡人民政府驻地；村民委员会驻地等6级。居民点的行政等级一般均用居民点注记的字体、字级加以区分(图6-5)。

[illegible]分人口数				[illegible]人口数	
城镇		农村			
北京	100万以上	沟帮子	2千以上	100万以上	100万以上
长春	50~100万	茅家埠		50~100万	30~100万
锦州	10~50万	南坪	2千以下	10~50万	10~30万
通化	5~10万	威远		5~10万	2~10万
海城	1~5万			1~5万	5千~2万
永陵	1万以下			1万以下	5千以下

图6-5 普通图上居民点的表示

2. 交通网

由于交通网是连接居民点之间的纽带，是居民点彼此间进行各种政治、经济、文化、军事活动的重要通道，在普通地图上应重点表示交通网的种类，表现各居民点间的联系条件。表示的具体内容分陆路交通和水路交通。陆路交通包括铁路、公路及其他道路。水路交通包括内河航线和海上航线。铁路有双轨或单轨、标准轨或窄轨、现有的或建筑中的区别。另外对车站及道路的附属建筑也需

表示。铁路采用黑白相间的线状符号或中、粗线表示。

普通地图上一般只表示公路和简易公路。表示内容有路面宽度、路面铺设情况及通行情况。地形图上公路是以不同宽窄、粗细的双线表示，并配以色彩和说明注记，表明路面的质量和宽度。其他道路指大车道、乡路及小路，在地形图上常用细实线或虚线表示。

内河航线通常用箭头符号表示河流通航的起点。

海上航线可分为近海航线及远洋航线，一般只在小比例尺地图上表示。海上航线通常由港口和航线两种标志组成：港口用符号表示所在地，海上航线多用蓝色虚线表示，并且往往还在航线上注出起止地和距离。

3 境界

普通地图上表示的境界包括政治区划界和行政区划界。政治区划界包括国与国之间的已定国界、未定国界及特殊的政治与军事分界（如巴勒斯坦地区界、克什米尔地区的印巴军事停火线、朝鲜半岛的南北军事分界等）。行政区划界，即一国之内的行政区划界，如我国的省、自治区、直辖市界；市、州、盟界；县、自治县、旗界；乡、镇界等。

政治区划界和行政区划界，必须严格按照有关规定标定，清楚正确地表明其所属关系。尤其国界的标绘必须报请国家有关主管部门审批。陆地国界在图上必须连续绘出。当以山脊、分水岭或其他地形线分界时，国界符号位置必须与地形地势协调。当国界以河流中心线或主航道为界时，应该通过国界符号或文字注记明确归属关系。譬如，当河流能依比例尺用双线表示时，国界线符号应该表示在河流中心线或主航道上，可以间断绘出；假如河流不能依比例尺用双线或单实线表示，或双线河符号内无法容纳国界符号时，可在河流两侧间断绘出（跳

对称性符号			方向性符号	
国界	行政区界	其他界	一般界线	区域界

图6-6 境界线符号

绘）。如果河流为两国共同所有，即河中无明确分界，亦可以采用在河流两侧间断绘出的国界符号。

行政区划界的表示原则同国界。境界线的符号用不同规格、不同结构、不同颜色的点、线段在地图上表示(图6－6)。

§2 国家基本比例尺地形图

2.1 地形图的类型

1. 地形图的类型

地形图按组织测绘的部门及服务对象的不同，可以分为两大类：一类是由国家测绘管理部门统一组织测绘，可作为国民经济建设、国防建设和科学研究基础资料的国家基本地形图；另一类是由部门或单位针对某一工程建设的规划设计和具体施工的特殊需要，在小范围内通过地面实际测量而成的大比例尺地形图。

2. 国家基本地形图的特点

(1) 具有统一的大地坐标系统和高程系统。我国的国家基本地形图，统一采用“1980年中国国家大地坐标系”和“1985国家高程基准”(以前曾采用“1956年黄海高程系”)。

(2) 具有完整的比例尺系列和分幅编号系统。国家基本地形图含1:5千、1:1万、1:2.5万、1:5万、1:10万、1:25万、1:50万、1:100万8种比例尺地形图，由上述8种比例尺地形图构成了国家基本地形图的完整系列。国家基本地形图，按统一规定的经差和纬差进行分幅，每幅图的内图廓皆由经线和纬线构成，并在国际百万分一地图分幅编号的基础上，建立了各级比例尺地形图的图幅编号系统。

(3)依据统一的规范和图式。国家基本地形图是依据国家测绘管理部门统一制订的测量与编绘规范和《地形图图式》完成，能确保由各地方测绘部门分别完成的地形图，在质量、规格方面的完全统一。

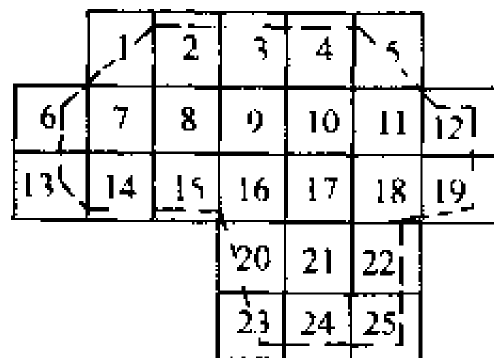


图6－7 地形图的数字顺序排号法

3. 工程用小区域大比例尺地形图特点

(1) 没有严格统一规定的大地坐标系统和高程系统。有些工程用的小区域大比例尺地形图，是按照国家统一规定的坐标系统和高程系统测绘的；有的则是采用某个城市坐标系统、施工坐标系统、假定坐标

系统及假定高程系统。

(2) 没有严格统一的地形图比例尺系列和分幅编号系统。有的地形图是按照国家基本比例尺地形图系列选择比例尺；有的则是根据具体工程需要选择适当比例尺。这类地形图多采用矩形分幅和数字顺序编号法(图6-7)。

(3) 可以结合工程规划、施工的特殊要求，对国家测绘部门的测图规范和图式作一些补充规定。

2.2 国家基本地形图的功用

国家基本地形图是国民经济建设、国防建设和科学研究不可缺少的重要工具，也是编制各种小比例尺普通地图、专题地图和地图集的基础资料。地形图由于采用了横轴等角椭圆柱分带投影，不仅没有角度变形，同时长度变形和面积变形都非常小，在一般地图量算作业中可以忽略不计。地形图的比例尺都比较大(除1:100万图以外)，图上所表示的各种地理要素都有精确的坐标位置和与地面之间相应的比例关系，还能详细表现各种地理要素的质量与数量特征。尤其大比例尺地形图，更具有几何精度高和内容详细的特点，因此其模型功能更加突出。在图上不仅可以实现详细的定性分析，例如提取自然地理要素中的地形、水系、土质植被，社会人文要素中的居民点、交通网、境界线等属性信息，同时又可以实现精确的定位量测，提取自然地理和社会人文要素的定量信息，例如位置、方向、长度、距离、坡度、面积、体积、密度等。但是，对于不同比例尺的地形图，其几何精度和内容详细程度都有很大区别，因此具体用途和服务对象也有所不同。

1. 1:5千至1:10万

通常将1:5千至1:10万比例尺的地形图称为大比例尺地形图。其中除1:10万比例尺地形图为编绘成图外，其余均采用航测方法实测成图。因此，这类地形图是国家基本比例尺地形图中精度最高、内容最丰富的大比例尺地形图。1:1万和1:5万地形图用途最广，1:1万地形图自1967年修改图式后，删减了军事方面内容，主要转向为国民经济建设服务，是国家重点建设项目和农田基本建设的基本用图。1:2.5万地形图，除少数发达地区曾测制过一部分外，其余大部分地区很少测制这种比例尺地形图，多以1:5万比例尺地形图取代。1:5万地形图，多用于重点工程的规划设计和布局，以及地质、水文等自然资源的普查或综合调查。1:10万比例尺地形图已基本覆盖我国全部领土，这种比例尺的地形图除西部山区主要是采用直接航测成图外，其余地区多为用1:5万航测地形图编绘而成，主要用作编制1:25万至1:50万比例尺地形图或地理图的基本资料。1:5万和1:10万比例尺地形图，亦可以作为编制各种大比例尺专题地图的工作底图。

2. 1:25 万、1:50 万比例尺地形图

1:25 万、1:50 万比例尺地形图,通称中比例尺地形图。国家测绘局于 1984 年正式颁发通知,将 1:25 万比例尺地形图列入国家基本地形图系列,用以代替 1:20万比例尺地形图。1:25 万比例尺地形图较原国家基本地形图系列中的 1:20 万比例尺地形图具有更大的概括,要求反映制图区域较为宏观的自然地理和社会人文状况,适于较大范围的工程建设和总体规划使用,亦可作为编制 1:100 万地形图的基本资料。新版的 1:50 万比例尺地形图,由空军司令部根据新编、新测的 1:10 万地形图编绘而成,在军事上可以提供战区基本情况和用于战略部署,在工程建设上可以用于大范围工程建设的总体规划与设计,还可用作相应比例尺专题地图的工作底图。

3. 1:100 万地形图

1:100 万地形图属于小比例尺地形图,它的制图概括程度比较高,在图上只能反映地理要素的最主要的特征,这与大、中比例尺地形图有明显的区别,按其性质应该列入地理图。在国民经济建设中,可用以从宏观上了解国家的自然条件和资源的基本情况,以及进一步制订自然条件改造和资源开发利用的总体规划。同时,它既是编制小比例尺普通地图的基本资料,也可以用作小比例尺专题地图的工作底图。

§3 地理图的设计与编制

3.1 地理图的编制特点

1. 地图内容的高度概括性

地理图的主要任务,是向用图者提供制图区域自然与社会人文要素分布、类型、结构、密度对比关系的一般特征。这就是说,地理图让用图者更多关注的已不是地图内容的几何精确性,而是反映区域自然和社会人文要素的宏观特性及要素之间的统一协调。因此,地理图从内容上已经过大量取舍,表现在地图上的各种要素在质量特征与数量特征上具有高度概括性。

2. 地图设计的灵活多样性

地理图不同于地形图,它没有统一指定的编图规范与实施细则。地理图可以针对地图的具体用途、目的和服务对象,确定地图表现的内容和表现形式。从地图投影、地图比例尺选择,地图内容的选取,图例符号的设计,色彩的运用,乃至图面配置设计风格等,均有很大的灵活性。

3 制图资料种类的多样性与精度的不均一性

地理图的比例尺往往比较小，制图区域比较大，制图资料的种类、精度和现势性都存在很大差别。因此，必须对制图资料在分析、评价的基础上，确定其使用程度和使用方法，尽量做到成图后各部分内容的统一协调。

3.2 地理图编制过程

1. 地图设计阶段

主要是为整个地图编制工作的实施，进行总体设计和制订编辑计划，最终形成指导整个生产过程的设计文件。

2. 地图编绘阶段

根据地图设计书和编辑计划的要求，将经过加工处理后的各种制图资料（地图资料、文字资料、调查统计数据、遥感图像等），按照一定的技术方法转绘到新编地图上，经过地图概括，编制成新编地图的编绘原图。

3. 出版准备

编绘原图的任务只是保证地图内容的科学性和准确性，而并不过分强调地图的描绘质量，若想获取大量精美的地图复制品，就必须进一步加工成出版原图，才能交付制版、印刷。

3.3 地理图设计的主要内容

1. 编辑设计前的准备工作阶段

(1) 深入研究新编地图的目的用途及主要服务对象　这是决定地图内容详细程度及进行地图设计的主要依据和出发点；

(2) 对国内外同类地图进行分析评价　目的是为了博采众长，尽可能提高设计水平；

(3) 搜集、分析、评价制图资料　制图资料的保障情况，直接影响新编地图的质量　因此在地图正式设计前，就应对制图区的有关资料有充分了解，尤其对基本资料的保障情况及补充资料、参考资料的具体来源与质量，要做到心中有数；

(4) 认真研究制图区域的地理特征　这是正确实施地图概括，更好地表现区域特点的关键。因此，应该尽量通过地图、图书文献、遥感图像对制图区域进行深入细致地分析研究，以便搞清制图区域的自然和社会人文要素的分布、组合及相互联系，以及在空间和时间上的发展变化。

2 正式编辑设计工作阶段

(1) 明确规定地图的任务及质量要求 说明地图的目的任务、使用对象、制图区域位置范围及对编图质量的基本要求,如地图内容的政治思想性、科学性、现势性、统一协调性及整饰方法的艺术性等;

(2) 设计地图的数学基础 选择地图投影,确定地图比例尺及经纬网密度,计算经纬网交点的平面直角坐标;

(3) 地图内容的选择和图例符号设计 根据地图的用途、比例尺和区域特点,对地图内容进行科学的分类与分级,并根据内容的分类分级系统制订相应的图例系统。在此基础上进行符号的图形、尺寸、颜色的设计及试验;

(4) 对制图资料加以说明 具体说明基本资料、补充资料、参考资料的数学基础、精度、内容的完备性、适应性和现势性,并指出存在问题及具体使用方法;

(5) 设计工艺方案 包括编绘原图的编绘程序和方法,出版准备工作的工艺方案和设计要求,并且用方框图加以说明;

(6) 地图概括方法的规定 具体说明制图区域各要素的分布规律、数量、质量及轮廓形状、密度等特征。明确规定各要素的选取指标,概括原则和程度,要素间的统一协调关系;

(7) 图面配置设计 图名的位置,字体、字号,内外廓的配置方法,附图、移图、图例、比例尺的位置等;

(8) 指导原图编绘、出版准备及审校。

§4 专题地图的特性与类型

4.1 基本特性

1. 内容广泛

专题地图以表示各种专题现象为主,也能表示普通地图上的某一个要素如水系、交通网等。因此所表示的内容十分广泛:既能表示自然地理现象(如气温),又能表示社会经济或人文地理现象(如旅游资源);既能表示各种具体、有形的现象(如企事业单位分布、风向频率)(彩图6-3),又能表示抽象、无形的现象(如气压分布);既可表示空间状况(如农作物、矿产的分布)(图6-8),又可反映现象在特定时刻的分布状况(如统计到某日期的人口数、某个时段的气温平均值);既可表示静态的现象(如城市的外贸总量),也可反映动态变化(如人口增长、我国某港口至世界各地的贸易量)(彩图6-4);既可反映历史事件(如500年来我国洪涝灾害的分布),又可预测未来变化(如海岸线沉降变幅的预测)。

2. 具备地理底图

专题地图由两部分组成：专题内容与地理底图。地理底图是以普通地图为基础，根据专题内容的需要重新编制的。专题内容不可能孤立地存在，必须依附于一定的地理基础。两者分别处于不同的层面：表现地图主题的专题内容以各种符号组成第一层面，地理底图则以较浅淡的色彩作为第二层面。两者在内容与形式上具有一定的内在联系。地理底图是专题地图不可分割的组成部分。

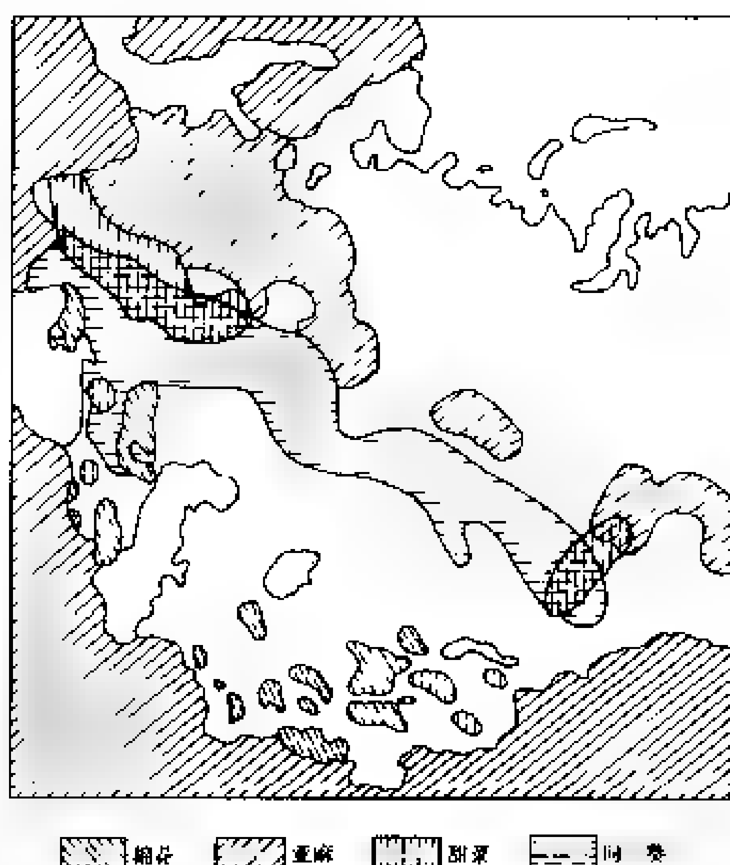


图6-8 作物的空间分布

3. 图型丰富，图面配置多样

由于用途、目的及编制特点的不同，专题地图图型及图面配置的变化相当丰富。长期以来，地图设计与编制所形成的十余种对点、线、面状符号的表示方法，大部由专题地图总结得出。在色彩运用及地图的图名、图例、主图与副图、附图、附表及其他表现内容的配置关系上，专题地图比普通地图、特别是地形图更为复杂多变，留给编图设计人员更多的创造空间。

4. 新颖图种多，与相关学科的联系更密切

科学技术的发展，观测方法、观测手段的不断增加与更新，特别是地理信息系统中分析功能、决策功能的支持，各类空间信息扩展和视觉化的需求也日益增长。以我国专题地图的发展状况看，从20世纪五六十年代主要由专业普查（如地质、土壤等）、综合考察、自然区划等方面的专题地图编制，逐渐发展到人口、社会经济、自然资源、环境、乃至跨越地学界线的医学、教育等领域用图。编图所依据的数据源，很多就是有关学科的现场调查资料、统计数据以及研究成果或结论。遥感图像也已成了专题地图十分重要的信息源。具体的图种，也从总结、反映时空分布的一般规律，发展到预测预报、宏观决策等更深层次的功能。

4.2 类　型

1. 按专题内容分类

根据内容，专题地图可分四大类：表示自然现象主题的自然地图；表示社会经济现象主题的社会经济地图；反映环境状况的环境地图；其他专题地图。

专题地图按内容进行分类时，应根据图件所涉及学科、专业的特点及结构层次，将所编的专题地图相对应地进行分级，这对于同一层次以及不同层次的专题内容进行对比和应用分析，各类信息数据库的建立，进行地理信息系统中的迭置分析、多因子综合分析等都是重要的。

(1) 自然地图　主要包括地理环境中各种自然地理要素形成的专题地图。较常见的如：

① 大气现象地图(气象、气候图)　反映气象、气候要素在空间、时间变化的地图。如太阳辐射、气团、气旋、气温、降水、气压、风、云、日照、湿度、蒸发量、热量平衡、气候带、气候区划等专题地图。

② 地质图　显示地壳表层的岩石分布、地层年代、地质构造、岩浆活动等地质现象的地图。如普通地质图，地层、构造、岩相图，第四纪古地理图，大地构造图，工程地质、水文地质图，火山及地震图，地球化学图，矿产图等(彩图6-5)。

③ 地势图　显示地形起伏特征的地图。如测高图、测深图、地形形态量测图、形态图、地貌图等。地形形态量测又可分为地形的切割密度、切割深度、坡度等地图(图6-9)；地貌图又可因其成因、年龄与发展过程的差异而分为地貌类型、地貌区划及各种部门地貌(流水、重力、岩溶、冰川、海岸、风沙等)的专题地图。

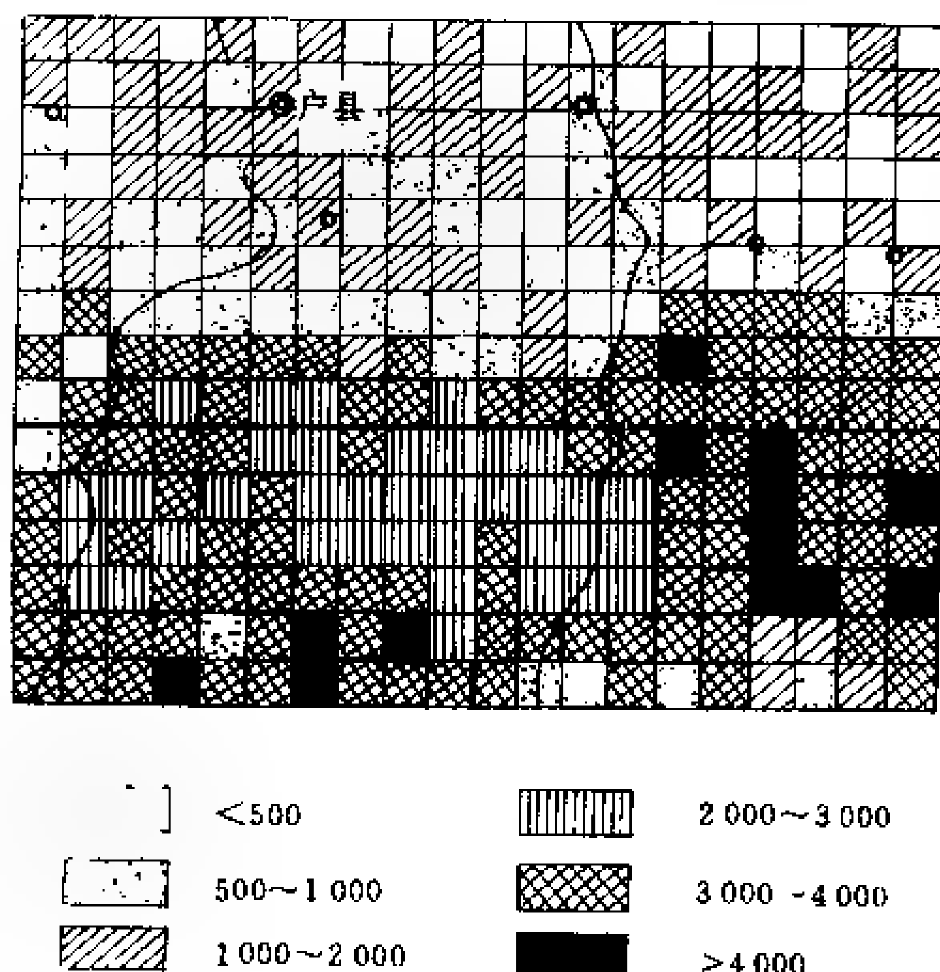


图6-9　地面切割密度图(单位：m/km²)

④ 水文图　显示海洋和陆地水文现象的地图。如洋流、潮汐、波浪、泥沙、

水温、盐度、水系、径流、水力资源、水文区划等地图。而有关径流方面的内容，又可分为下一个层面的径流深、径流系数、径流变率等专题地图。

此外，土壤、植被、动物地理、地球物理、综合自然地理等类型的专题地图也属于自然地理图的范畴。

（2）社会经济地图　社会经济类的专题地图涉及面十分广泛，它所包括的主要类别有人口地图、经济地图、社会事业地图、政治行政区划地图以及分别在区域及时间上有特殊意义的城市地图和历史地图等。

① 人口地图　反映人口的分布、数量、组成、动态变化的地图，如人口分布图、人口组成图、人口密度图（彩图6-6）、人口自然增长率图等。在表达人口组成的地图中，又可分为年龄、性别、宗教、民族、职业构成等；人口分布中又可分为常住人口、流动人口（图6-10）等，在流动人口中，还可根据旅游业的需要编制更专业化的城市白昼与夜间居住人口图。

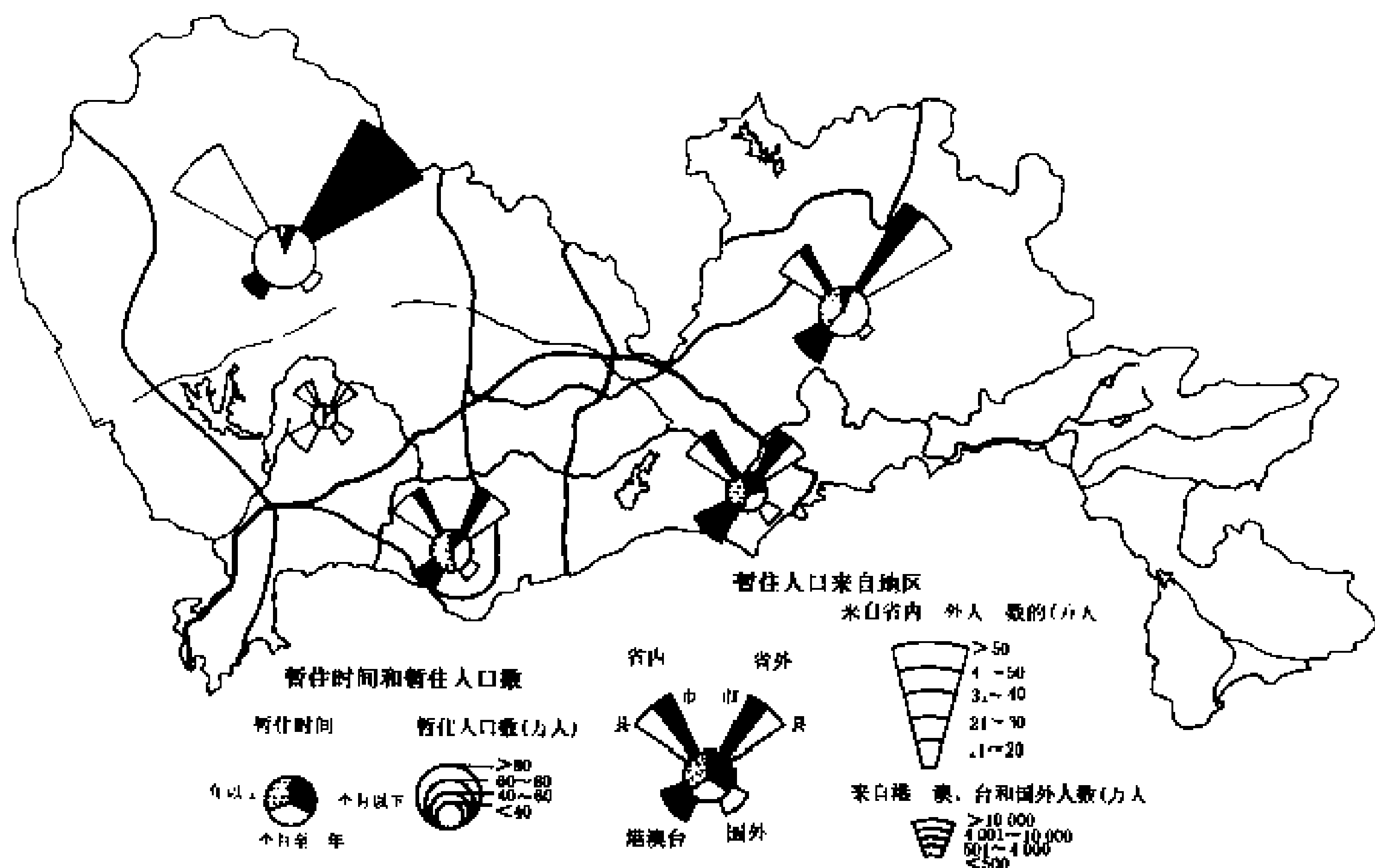


图6-10　深圳市流动人口图

近年来，根据研究水平及在人类生活中的作用与地位，也有把人口地图从社会经济地图中分离，与自然、社会经济等并列而成第五大类的专题地图。

② 经济地图　反映国民经济各部门的分布、结构及发展水平的地图。经济地图是社会经济，乃至整个专题地图中专题最为广泛的类型。主要包括资源地图、经济发展总体指标图、各经济部门的专题地图等大类。旅游作为国民经济的一个产业，也可把旅游地图作为经济地图的一个大类。资源地图包括劳动力、水、气候、矿产、土地等资源类型在数量、质量、分布及综合评价方面的专题地图；

经济发展总体指标包括产业结构、国民生产总值、工资水平、经济发展波动性特征等专题内容(彩图6-7)。经济部门专题地图的分类十分繁复,包括工业、农业、商业、交通运输业、邮电通讯等类的专题地图,每一类又分为许多次一级的专题,仅以农业为例,就包括农(耕作)、林、牧、副、渔等几个主要类别。因此,经济地图在各个不同层次结构都有数量众多的地图或地图集成果。

③ 社会事业地图 反映教育、科学技术、医疗及卫生、体育、文化娱乐、广播电视、新闻及出版等部门的现状及发展的地图。社会事业各部门的地图常常是综合地图集中的重要组成部分,一般较少单独成图。近年来,医疗、教育等编制了一些有影响的地图集。

④ 政治行政区划地图 表示各类区域(如世界、地区、国家及国内各级行政区)行政区划及政治地理行为的地图。

⑤ 历史地理图 反映人类社会发展的历史过程、历史事件的地图,如国家疆域的变迁,民族迁徙及民族史(图6-11,6-12),自然环境演变及自然灾害,经济、文化、政治的重大事件及发展变化等专题

⑥ 城市地图 作为政治、经济及各类社会事业的特殊区域,反映城市的沿

图6-11 历史地图(Ⅰ)

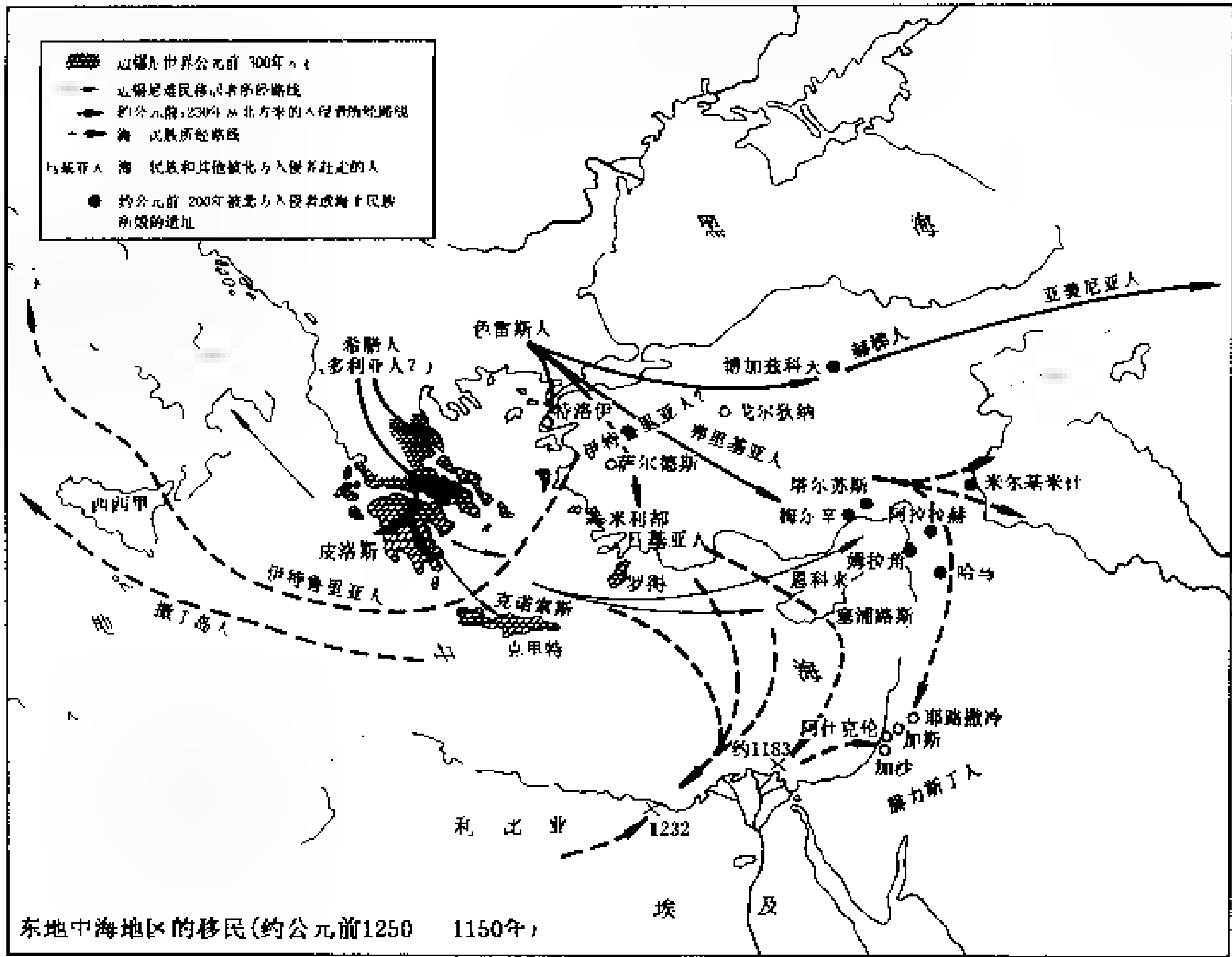


图6-12 历史地图(Ⅱ)

单、现状及发展目标的地图。城市地图在国内外都已发展为一个较为独立的专题地图系列(图6-13)。

(3) 环境地图 人类对自身生存环境的重视,环境状况的恶化趋势以及对环境持续化发展的需求,使环境地图成为专题地图中的新型独立图种

① 环境背景条件地图 在编制环境系列图或地图集时,除主题内容外,选取与主题内容有关的自然与社会经济方面的本底条件所制作的地图。背景本底条件随不同的环境主题内容而有不同的选取。

② 环境污染现状地图 包括污染源分布(如大气、废水等)、污染现状等方面的地图(彩图6 8)。

③ 环境质量评价及环境影响评价地图 环境质量评价是对环境质量优劣的定量描述,包括对大气、水、土壤、城市综合环境评价等内容;环境影响评价是针对区域开发活动给环境质量所产生的影响进行评价,通过地图的方式,全面研究环境各要素空间变化的规律,提出环境保护的各项防治、整治措施,以及具体的技术经济论证意见

④ 环境预测及区划、规划地图(图6 14)

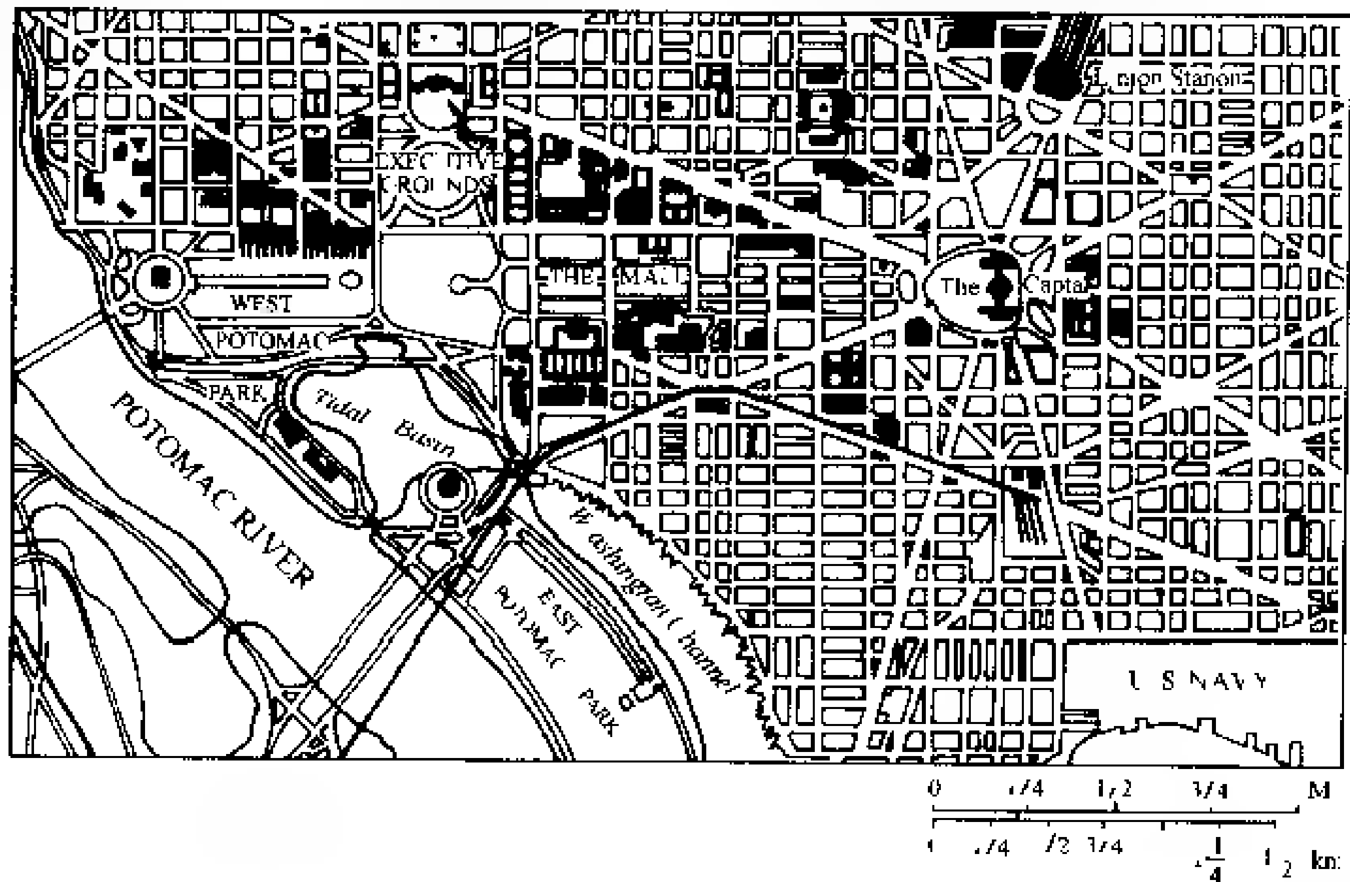


图 6－13　城市地图

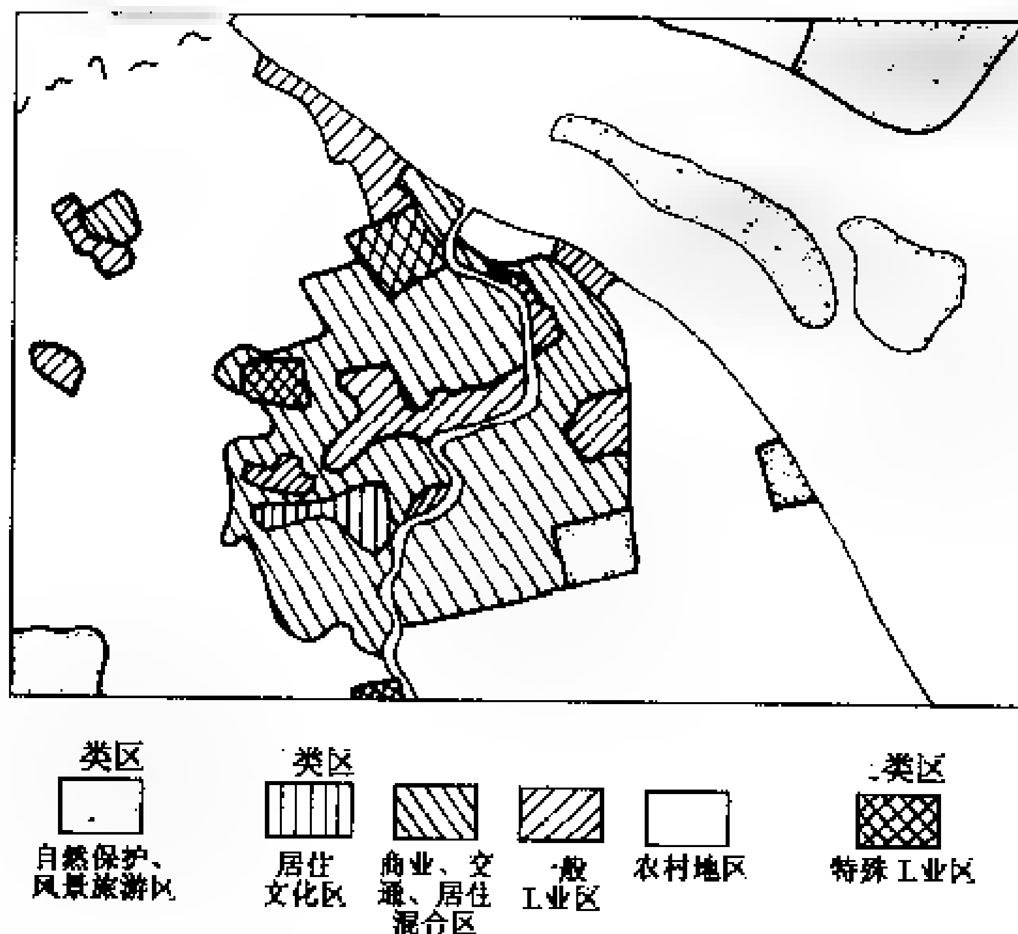


图 6　14　上海市环境功能区划图

⑤ 自然灾害地图　反映区域件各类自然灾害的分布、成因、危害程度、防治措施等方面的地图。自然灾害指地震、洪水、台风、冰雹、泥石流、风沙、森林火灾、病虫害等

(4) 其他专题地图　指上述类型以外的专题地图，主要有各类航图及工程

技术图等专用地图。

专题地图按内容(主题)所作的分类并不是绝对的,有些专题地图可同时分属不同的类别,如矿产可以作为一种资源属于经济地图,也可作为一种地质现象而属于自然地图。尽管图名及图面所表示的主要内容一致或相似,但编图目的及使用对象不可能相同,因此对专题资料的选取、处理以及表示方法等应该有所区别。由于人类积极作用于环境,综合反映自然现象与社会经济现象的地图数量急剧增加,某些专题在功能上相互结合的趋势不断发展,形成了不少新的图种。因此,在实际使用中,并不一定要求具体图幅内容分类的确切归属。

2. 按专题现象概括程度分类

根据对专题现象的概括程度,可将专题地图分为分析图、组合图、综合图。

(1) 分析图(解析图) 通常用来表示单一现象的分布情况,但不反映现象与其他要素的联系或相互作用。对这种单一现象的内容通常不作简化或很少简化。因此,从资料的获取、处理到图形表示都比较直观、单一。如表示各行政单位人口数量及分布范围的人口图;表示各个工厂企业的分布或单一指标(总产值或职工人数或利税等)的工业图;表示某时刻气温分布的温度等值线图;反映区域内地面切割程度的切割密(深)度图等。分析图可直接获取某专题的空间分布规律,也可作为编制组合图、综合图的基础资料(彩图6-9)。

(2) 组合图(多部门图) 在同一幅地图上表示一种或几种现象的多方面特征。这些现象及其特征必须有内在联系,但又有各自的数量指标、概括程度及表示方法。因此,组合图都是多变量的专题地图。采用组合图方法编制地图的目的,是为了更完整、深入地说明某一明确的主题。如在地图上同时表示某区域的经济作物分布(范围法)、所形成的工业中心及结构(点状符号)以及原材料及产品的产销路径(运动线),从而组成简明的工业区图(彩图6-10)、(彩图6-11)、(图6-15)。

(3) 综合图(合成图) 表示的不是各种现象的具体指标,而是把几种不同的,但互有关联的指标进行综合与概括,以获取某种专题现象(或过程)的全部完整特征。各种类型的区划图、综合评价图都属此类。如气候区划图中对气候区划的划分依赖于气候及其他诸多因子(气温、降水、湿润度、地貌等),但在气候区划图上,并不出现上述各单因子的解析图,而是通过这些单因子建立综合指标来划分。又如某区域的环境质量综合评价图,是通过大气、水、噪声、固体废弃物、生态与绿化状况等有关的十多个因子,按一定的标准分别打分,以各因子在影响环境质量中的作用确定权重,得到综合性的评价指标及分级,从而编制出环境质量综合评价图(彩图6-12)、(图6-16)。

以传统的方法,分析图、组合图、综合图在设计与编制时的复杂程度是逐步增加的。而运用计算机进行自动制图,特别是地理信息系统方法的介入,它们之

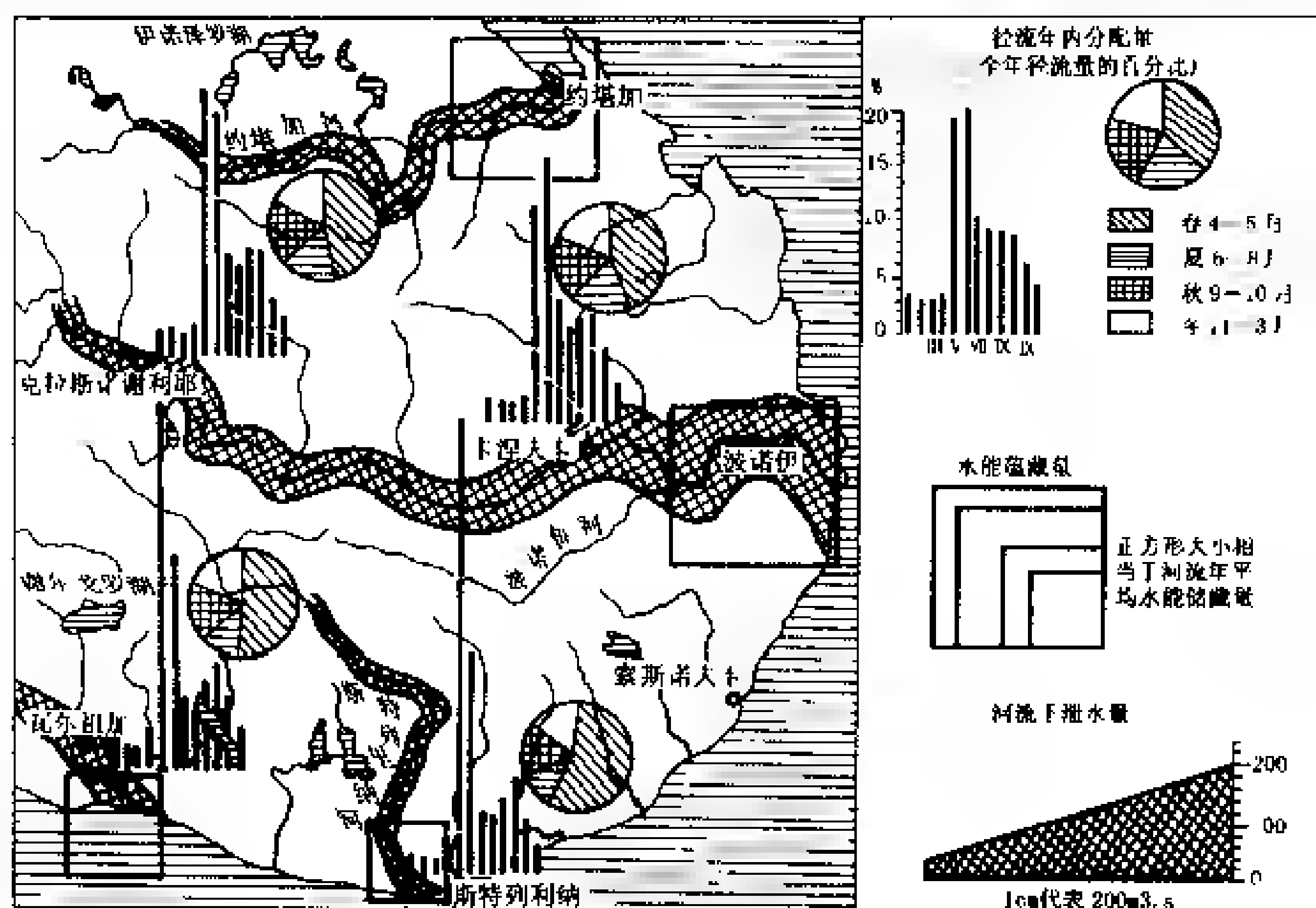


图6 15 组合图——某地水利图

间的差异已不十分明显。

有一些类型的专题地图，是为特定的专业需要设计的，并且往往只在相关的专业部门中阅读、作业、使用，可称为专用地图。他们在功能、表示方法、图面配置等与一般的专题地图有一定差异。航图（航空、航海、宇航）就是典型的专用地图。其他如教学地图、旅游地图，也可划入专用地图的范畴。

4.3 专题地图的应用

地图在其发展的历史长河中，一直以其应用广泛而受到重视。专题地图作为地图的主要类型，当然也不例外。随着相关学科，特别是现代科学技术对地图学的渗透，地图的应用领域更加得到扩展与深入。在这方面，专题地图更为突出。专题地图在各领域的应用可以归纳为以下几个主要方面：

1. 研究各种现象的分布特点与规律

专题地图上的现象可以是单一要素、单一类型，也可以是多要素或综合要素。其分布特点往往用目视分析的方法就可得到概略的了解。对地图进行分析的结果，可以查明各种现象的分布特征、界线，了解区域的特点和结构等。如在《中华人民共和国地图集》的土壤图及植被图上，可以分析出我国土壤与植被自北向南、从东向西所包括的地带性和非地带性分布规律，也可了解到各地带内受局部地形影响的垂直地带类型的变化。我国肿瘤病的发病地区的分布图上，也

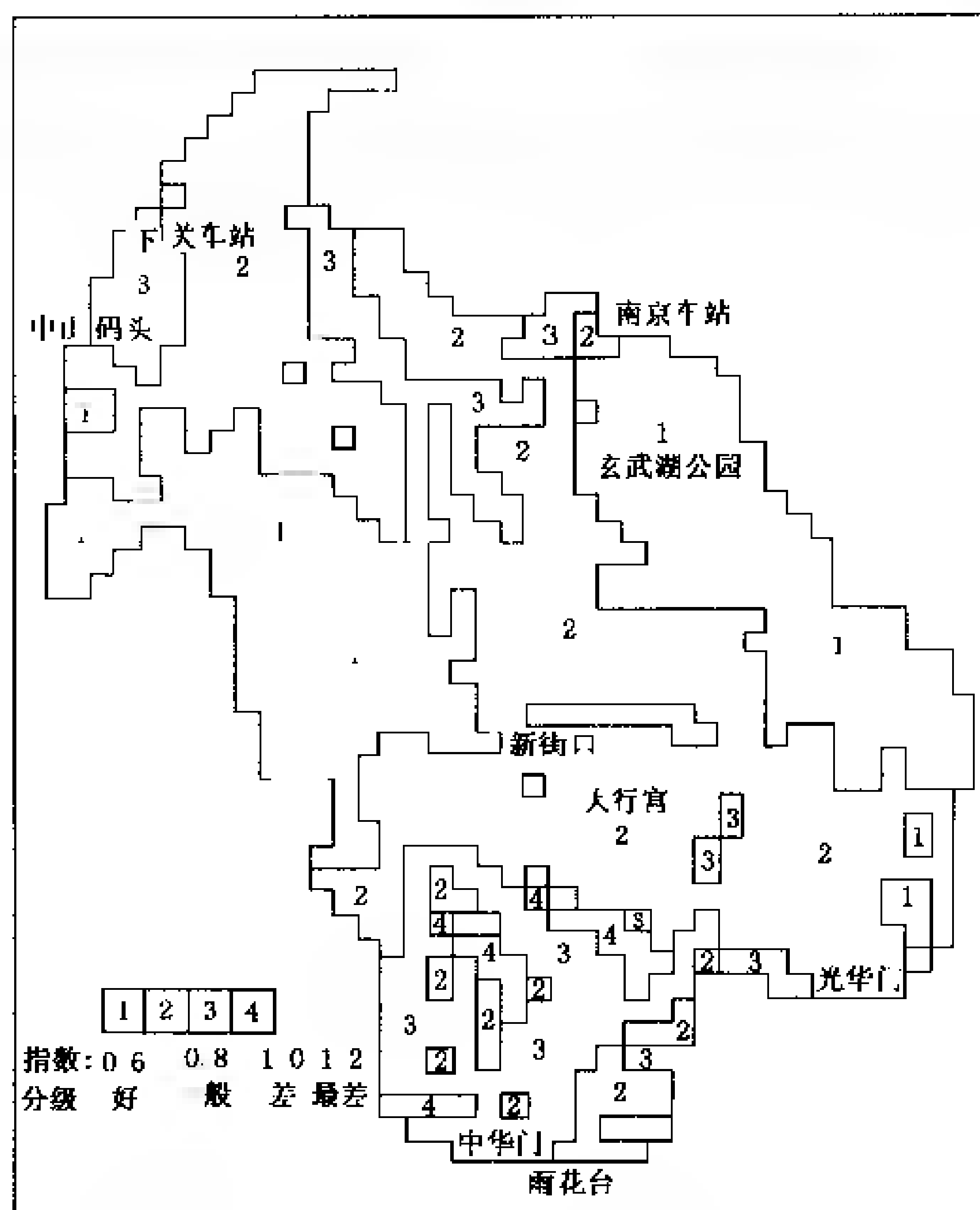


图6-16 综合图 南京市环境质量综合评价图

有着明显的地域分布规律(图6-17)。

2. 研究各种现象的相互联系

运用地图进行专题现象相互联系、相互制约的研究,是地图应用的优势所在。这种分析,可以通过对同一幅图中的几个相关要素进行,图6-18中表示了上海市及邻近地区历史上发生地震的次数(包括震中及震级)及地区分布,上海地区的构造断裂带以及主应力方向,从而可以分析得出上海市中心城区没有发生强烈地震的内在基础及现实先例的结论;也可以对几种不同内容的地图进行目视分析或图形迭置,如仍以土壤图与植被图为例,将两幅地图对照分析能发现两者成因及分布规律的共同点(图6-19)。

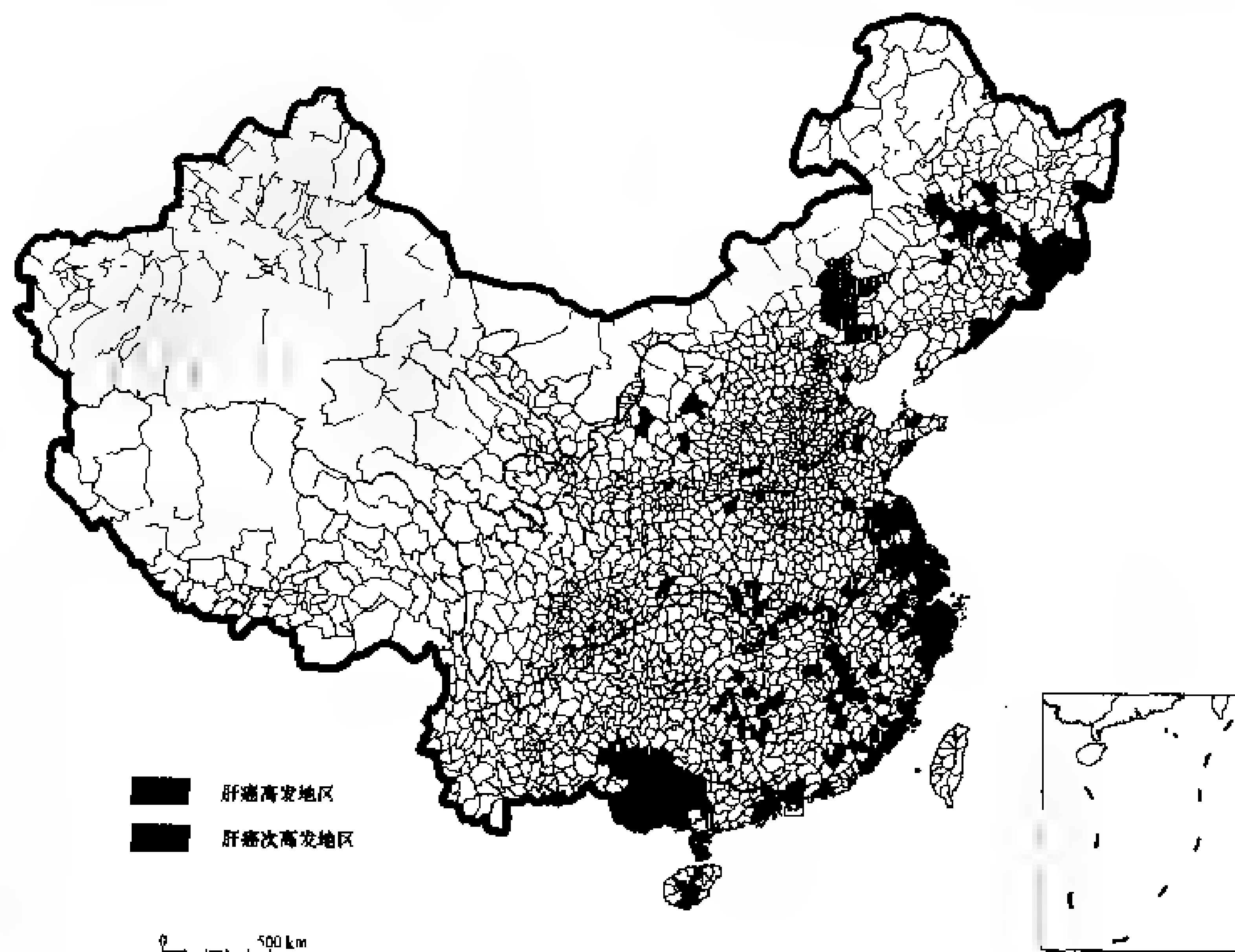
3. 研究各种现象的动态变化

地图以反映事物的静止状态为主。但借助于一定的表示方法,如在点状符号中,以扩张的形式或不同的色彩,在线状及面状符号中以不同色彩的线条与图斑,都可表示分布范围在不同时期的动态特征。彩图6-13中,不同成陆年代用

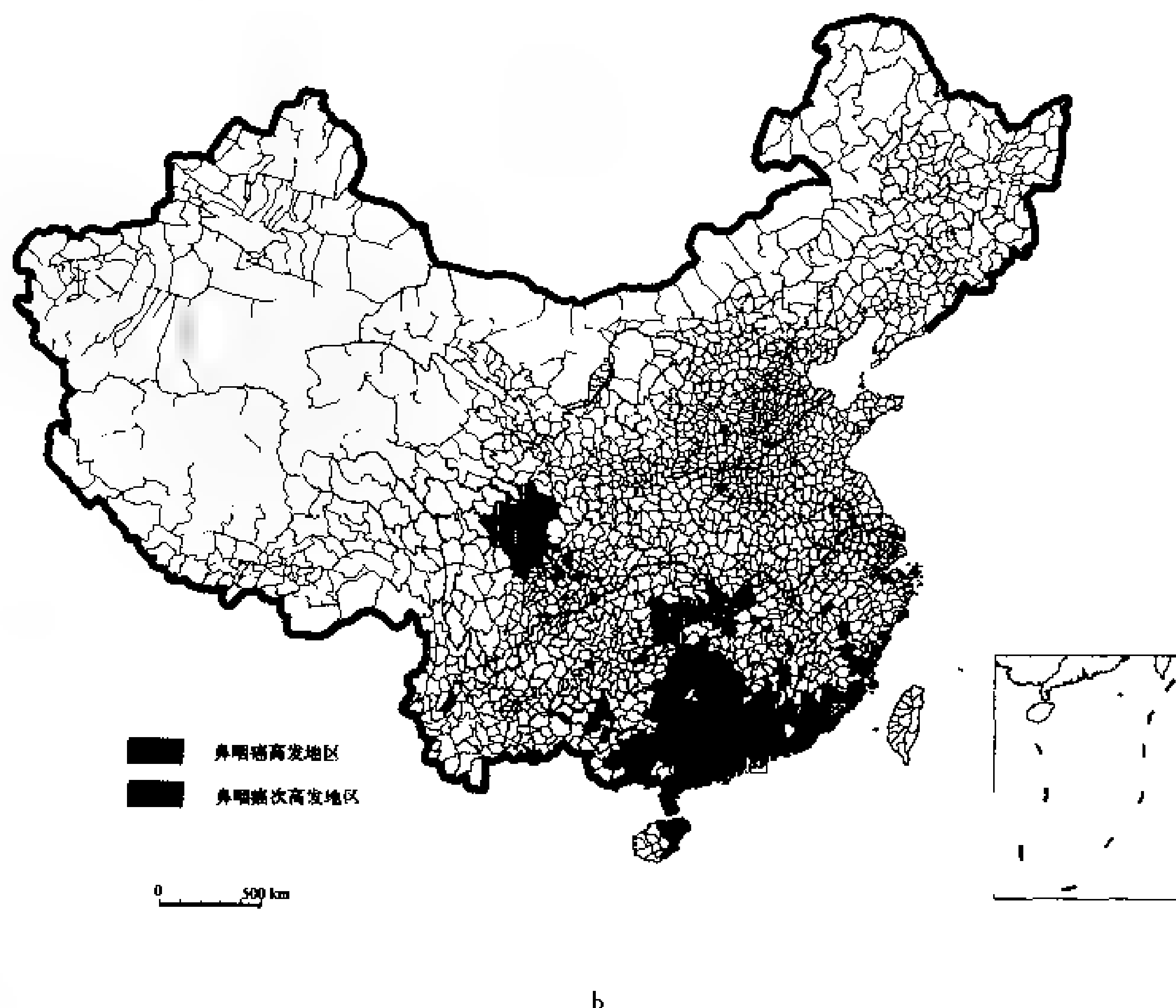
不同的彩色线条表示,在各时间区段中,还分别填上由棕向绿变化的色斑,不仅得出了各时期的岸滩位置,又能估算形成陆地的速率与方向。如把该图与相同地域的地貌图对照,就可从动力及沉积的原因对成陆规律作出解释;可以采用箭头形式指示事物运动方向;可以通过对多幅不同时相、同一主题地图的对比,直观地进行动态分析,如上海市中心城建成区边界轮廓线的历年变化图就是一个实例;采用GIS的动态模拟功能,更能方便地进行动态变化研究,仍以上海为例,以GIS所得到的市中心建成区几十年间的连续变化,显然比静止地观测8个时相的城区轮廓,或静态地迭置边界,能更形象反映动态特征。

4 进行预测预报

通过地图分析进行地理要素的预测预报是一项综合研究,需要准确了解地图上各类事物分布的现状特点,了解相关事物之间的联系与制约,了解历史过程中的动态变化规律。而分析的方法不仅需要目视分析,更得依赖图解、图解分析、数理统计以及数学—地图模型方法的综合运用。现象随时间推移而变化的预报,如天气预报(包括短期、中长期预报),台风路径预报、地震预测预报(包括



a



b

图 6-17 专题现象的分布规律

a.我国肝癌高发区分布;b 我国鼻咽癌高发区分布

中长期、近期及临震预报)等,以及现象分布范围的预测,如地下石油资源的贮存范围与数量等,国内外都已有许多成功的事例(图 6-20)。一些重大工程建成后,也必须进行区域生态环境预报,如我国长江三峡电站建成后库区上游及坝下沿程(直至长江入海口)生态环境的预测预报。在这些预测工作中,地图既是研究对象及研究手段,又是最终研究成果的重要表达形式。

5. 进行综合评价

地图应用中的综合评价,必须根据明确的目的要求进行,在分析评价了主题各相关要素的地图后,找出影响因素中的主导因素及评价的指标系统。如投资环境的综合评价,除了一些政策性因素外,主要分析影响投资环境的自然因素(如气候条件、水资源、矿产资源)、社会经济因素(劳动力的数量、素质、结构,劳动生产率、工资水平,工农业生产水平,文化设施等)和基础设施(水、电、煤、交通、通讯等的现状)各类地图,进行单项评价分析后,找出影响本区域或特定投资项目投资环境的主要条件,确定评价的指标系统,以地图的形式对区域的投资环

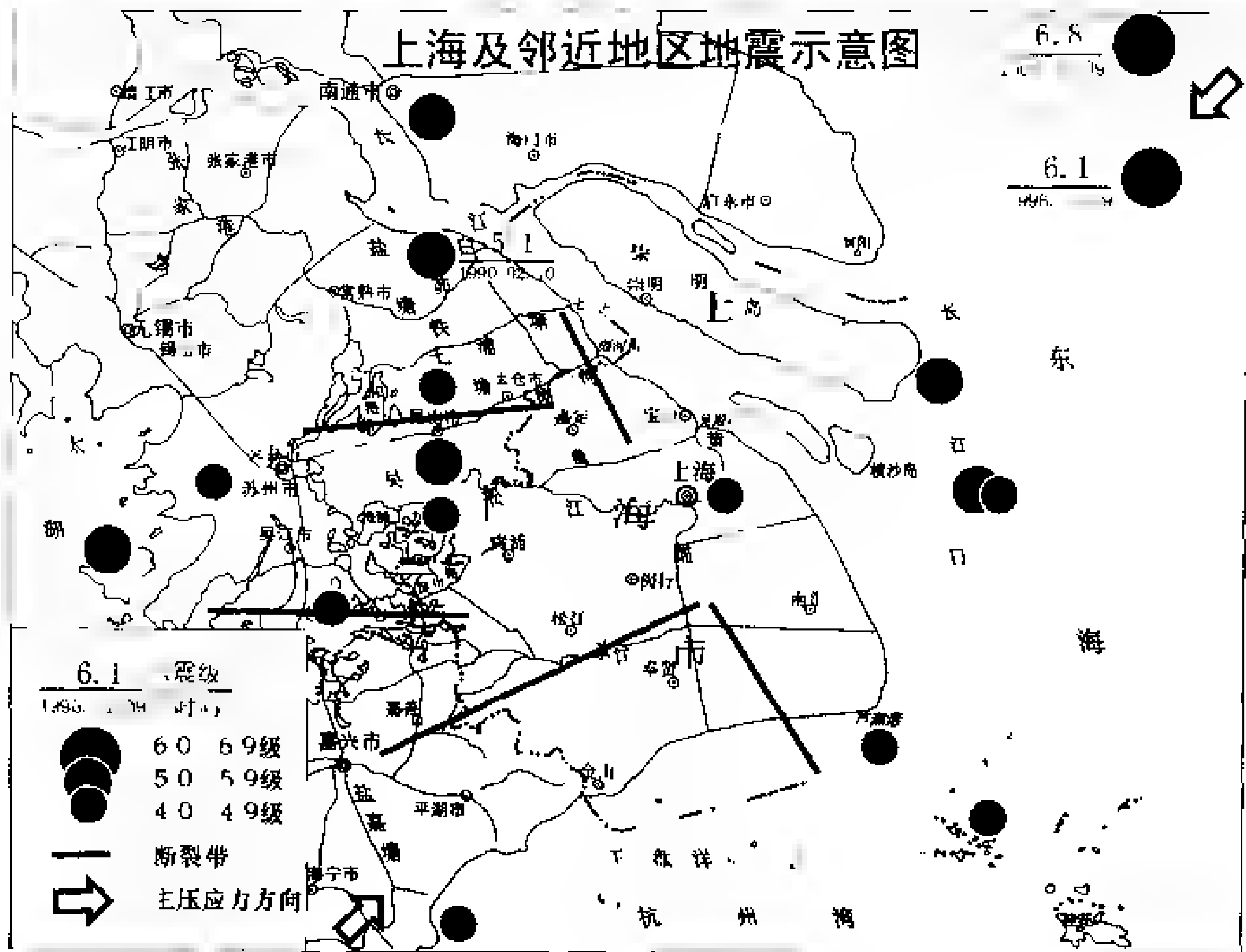
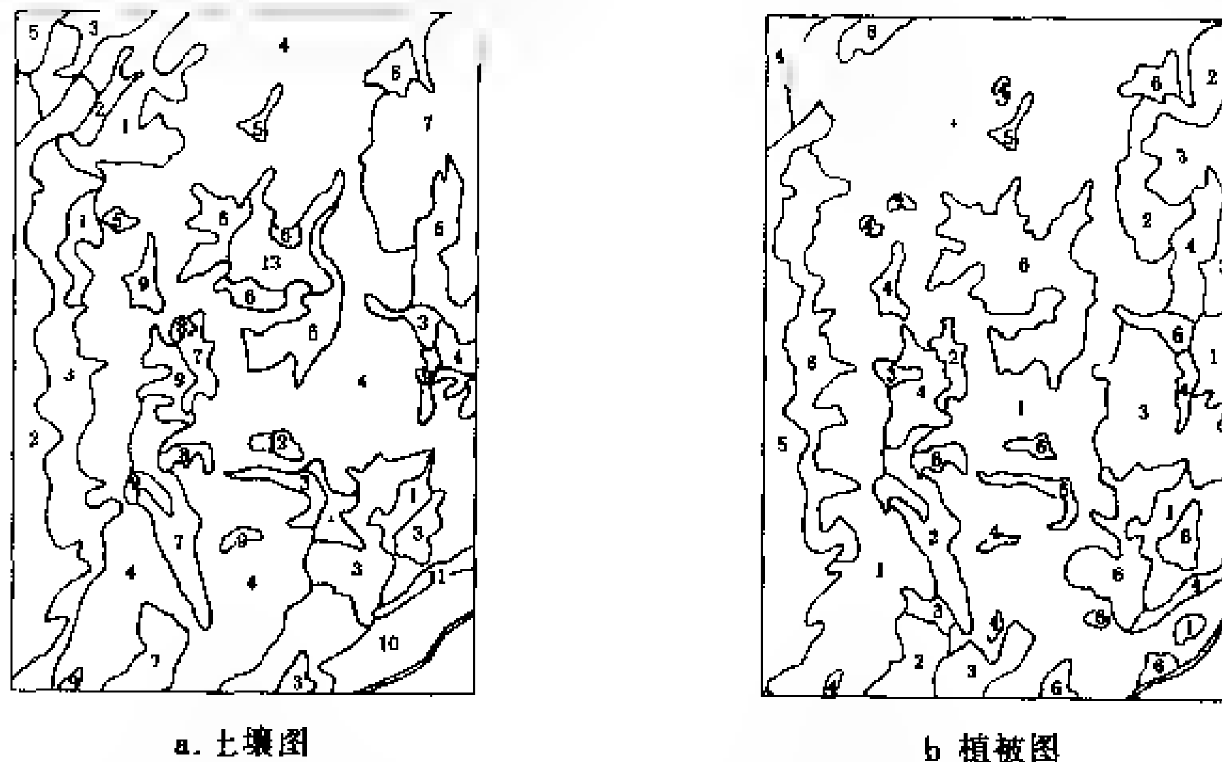


图6　18　专题现象之间的内在联系(Ⅰ)



a. 土壤图

1　普通红壤;2　生草红壤;3　耕种红壤,
4 普通红棕壤,5 生草红棕壤;6 生草耕种红棕壤;
7　普通棕壤;8　生草棕壤,9　山地灌丛草甸土,
10　普通褐红壤;11　普通黑色石灰土;
12　水旱耕黑色石灰性土;13　耕种草甸土

b　植被图

1　云南松与灌木群落,2　高山松落叶松林;
3　高山栎类林;4　丘陵低山灌丛;
5.水田或以水田为主的栽培群落;
6　旱地或以旱地为主的栽培群落

图6－19　专题现象之间的内在联系(Ⅱ)

境质量作出评价。对农业自然条件、土地资源、环境质量等的综合评价也都是分别以与该主题有关的单项专题地图作为分析评价的依据，找出主导因素，制订评价指标体系后，得到发展农业自然条件的总体评估，土地资源的适宜与局限，环境质量的优劣程度等综合分区或分级。利用地图进行综合评价，一般都以系列图或地图集的形式出现。

6. 进行区划和规划

区划是根据现象内部的一致性和外部的差异性所进行的地域划分。规划是根据需要对未来的发展提出设想和具体部署。在制作区划与规划的过程中，始终需要应用许多相关主题的专题地图，而它们的归宿也分别是各类区划与规划的专题地图(或图集)。自然地理各要素以及社会经济各部门都需要制作单项或综合性的区划，如气候区划、土壤区划、工业区划、水利区划等。各级行政部门也都需要制作与本级行政单位相适应的区划。如我国早在20世纪60年代就已开始制作全国、省及市、县的农业区划，有的地区还根据本地农业生产的特点，制作更细致的部门区划，如粮食作物区划、经济作物区划、畜牧业区划等。制定区划实际上就是在各类单要素专题地图上，运用各种地图分析的方法，制定多级分类、分级指标，确定区划界线，勾绘成具有明确分级系统的区划图。

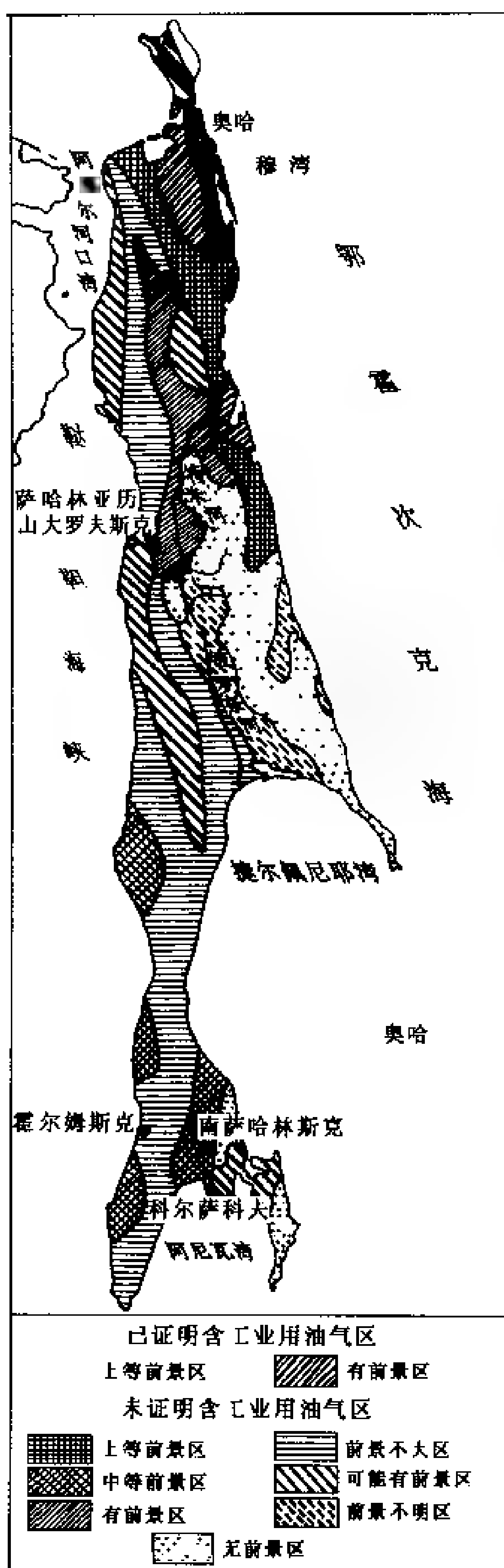


图6-20　专题现象的预测预报

规划图可分为很多类型：以时间区分，在2～3年内就可实现的为近期，10年以上才能完成的是中、远期；以区域分有省市级，或某个工业发展区的规

划;以规划内容分,可以是单项或综合的,以环境规划为例,可以单就大气、水质、噪声制订规划,也可以是环境综合治理规划

7. 其他方面的应用

在军事指挥 工程规划设计、工程建设、生产管理、宣传教育、国土资源调查研究、航天航空活动等凡是涉及人类活动的各方面,专题地图都有十分广泛的应用

§5 专题地图的编制原理

5.1 专题地图的编制过程

专题地图的编制程序与地理图相同,也分为地图设计、地图编绘、出版准备三个阶段。它们在各阶段的工作内容有许多相同及相似之处,但专题地图在设计及原图编绘中也有本身的特点和要求:

1. 地图设计

在具体进行地图设计之前,应先了解与确定编图的目的任务及用图对象,这对选取地理底图及专题要素的内容、表示方法及色彩,考虑图面配置的方案等都是直接相关的。在此基础上,可酝酿拟定一个初步设计方案,并将主、副图的主要内容、表示方法、图面安排、色彩等绘成一幅概略的草图,经征求意见修改后,即可着手收集编图所需资料,进行资料的处理、分析与评价,然后正式开始地图设计。地图设计主要包括:

(1) 确定制图区域的范围、地图的主要参数 例如地图的开本、实际尺寸、主副图的比例尺等,为小比例尺地理底图的编绘选择合适的地图投影。

(2) 图面配置设计 主体地图的地位及其与邻区的关系,副图、附图、附表的配置,图名、图例、照片、文字说明等的处理。

(3) 表示方法与资料的分配 一幅完整的地图,并不是要把所有的专题资料都集中在主图上,而应区分主次,有层次、有选择地分配给以主体地图为主的所有制图区域。在表示方法上也同样要作全面考虑,作有机搭配。

(4) 图例系统与符号的设计 按照编图目的及资料分析的结果,编制合理有序的图例,设计各类专题符号

(5) 制定作业方法与制印工艺流程 为检验设计的可行性及合理性,应尽可能对设计内容、参数选择、图面配置、图例及符号设计、表示方法、资料分配与取舍,直至制印工艺流程,作试验与比较。内容的设计与各项试验工作可以同时

或交错进行。

(6) 以编辑设计书的形式加以落实 设计书的编写没有固定格式，只要求能将设计的内容给予准确地表述。设计书的详略还因编图任务的简繁而异。

2. 作者原图与编绘原图

专题地图的作者在很多情况下是专业人员 根据他们对专题内容的理解，或在制图人员的配合下，用一定的表示方法，将专题内容完整、准确地定位表示在地理底图上，就成为作者原图。作者原图的作者都需遵从编辑设计书的基本要求，同时还应提供编图的原始数据及必要的文字说明。

作者原图是编绘原图的基础。编绘原图的步骤及方法与普通地图相似，由制图人员按编图大纲要求进行。原图编绘之前，应先制作地理底图，再按一定的编图方法，将作者原图上的内容转绘到地理底图上

3 出版准备

常规专题地图编制工作的出版准备与地理图所使用的方法及步骤基本相同。

经过作者原图与编绘原图的编制所得图件，只是体现了地图编制者的意图，而整饰质量不可能满足直接用于制版印刷的要求，应当采用刻绘或清绘的方法，制作供出版用的印刷原图，然后才能转入地图制印阶段，进行大量的复制。

计算机技术的应用，使专题地图的编制过程有了很大变化。它与传统的方法相比，虽然其编制过程仍为地图设计、地图编绘、出版准备三个阶段，但所包含的具体内容，已有明显变化。经过十余年的探索与发展，以计算机完整地从事各种类型专题地图编制，已有不少成果，逐渐成为主要的编制手段。

(1) 地图设计 该工作与传统方法相同，主要包括资料的收集、分析评价及确定专题地图所需要的编图资料。此外，还有若干必要的编辑设计前的准备工作。其中，有些工作内容可由计算机完成，如为了拟定初步设计方案而进行的主、副图内容、表示方法、图名安排及色彩等的试验与选择，概略草图的绘制都可通过屏幕显示，以便反复比较及修改，因此更能符合设计人员的设计意图。

(2) 地图编绘 由专业人员根据编辑任务书的要求进行。由于计算机自动制图的硬件设置及软件功能各有不同，使计算机编制专题地图的具体操作流程有不少差异。其工作内容主要包括各类数据的输入、处理、编辑，生成所编地图中需要的各种地图、图表文体。

(3) 出版准备 对待编地图进行整体拼装，经检查无误后，将地图以底片形式生成，即可转入制印阶段。

5.2 专题地图的资料类型及处理

1 资料的类型及要求

制图资料是编制专题地图的根本依据，资料内容的完备性、现势性、科学性将直接影响编图的质量。编制专题地图的资料有下列几种：

(1) 地图资料 包括地形图、地理图及与所编地图有关的其他专题地图。普通地图主要用于编制地理底图。某些地理要素也可以成为分析与编制专题内容的基础资料。普通地图的比例尺应选择稍大或相同于所编的专题地图。

编制专题地图时，比成图比例尺大的同类内容的专题地图或者其他与成图内容相关的专题地图都是重要的基本资料。如编制环境污染源分布图，该制图区的企业分布图就是必须的。编制综合性专业地图时，即使专题所属各部门或各要素专题地图的比例尺较小，同样也是有用的资料，因为这些单要素的资料只是所要编制图件综合指标的一个组成部分，能够满足层次较高地图的要求。如编制城市环境综合质量评价图时，会参考该城市的大气、水、噪声、固体废弃物的环境质量以及绿地面积等专题图；编制土壤类型分布图时，会参考同地区的植被类型图、地貌类型图、地质图等。

对地图资料的基本要求是：所选资料地图的内容符合编图要求，各相关地图之间的图例及数据分级具有可比性，地图投影以及资料地图上的图形、表示方法等能通过适当转换后被引用，比例尺大小相宜，具有较好现势性。

(2) 遥感影像资料 各类遥感影像是编制相关专题地图的重要资料，对编制数字地图、建立地图数据库，更是重要的信息源。因此，对与成图比例尺相近的各类单色、彩色、影红外以及高分辨率、多波段、多时相、多种平台的航空像片、卫星影像，都应根据实际可能及需要尽量收集。

遥感影像资料要求图像清晰，分辨率高，影像的类型、时相及比例尺能满足编图需要。

(3) 数据资料 主要包括观测、实测、量测资料以及统计资料。观测资料如水文台站、气象台站、污染监测站、地震监测站等定期、长年的观测记录值；实测资料是专业野外调查所得勘测数据；量测资料是从较大比例尺的普通地图、专题地图上直接量测的数据。这些资料是编制较大比例尺分析图的基础资料。

(4) 文字资料 包括专题研究的阶段或终结成果，有关的论著、文件、地理考察或调研资料，政府文告、政策法规，历史文献与档案，与专题有关的新闻报道及图片等。

2. 编图资料的分析评价

分析评价之前，应对所有资料登记，进行分类、编号、列表，除名称、形式、资

料来源或提供单位等以外，地图或影像还应有资料年限、范围、类型等项目。

资料的分析与评价，是对照资料的政治性、科学性、完备性、现势性等要求，评定各种资料的使用价值和可使用程度。

(1) 政治性 集中体现于地理底图的编制，主要有涉及国家主权、立场方面的，如国界线的走向与绘法，界河、界峰、山口、岛屿、海域的归属，国外地名的译法，有争议地区的表示等。对国内的行政界线、土地归属等也应慎重对待。政治性问题必须以政府正式的法律、条约为准，必须得到规定主管部门的认可及审定。

(2) 科学性 指资料可靠及精确的程度。这要从资料的来源、制图方法、原始资料的依据等方面评价。如政府颁布的统计资料，可靠及精确程度都是高的，实测调查资料要依据实测的方法和手段来判断其精度。对地图资料的科学性检验，国家基本比例尺地形图具有高精度，一般的地理图或专题地图，要分析是否具有完整、可信的数学基础(投影、比例尺、坐标网格等)。对地图上的专题内容，只能通过对提供资料的单位以及其他有关的专题数据等分析后作判断。

(3) 完备性 根据设计中的专题地图所要表示的内容来评价资料的完备程度。有关专题地图的数学基础所需要的完备与精度，已在科学性中讨论。这里仅指专题要素的详细性及完备性，如资料各个项目是否齐全，各要素所表达的数量能否满足要求，资料的概括程度能否满足新编图的详细程度，各要素之间的内容是否相互协调一致。一般说，应使提供资料的数量及详细性超过新编地图的需要，资料的分类、分级有可能转换为新编专题地图的系统，才能为新编地图留有设计的余地，达到资料完备性的要求。

(4) 现势性 注意资料的汇编或编制时间，是否符合统一截止日期的要求，是否反映本专题近期的成就及状况，是否符合科学的现实概念。还应注意地图资料的成图及修测时间，专题要素的变更速度与资料的更新速度是否协调等，这些都是资料现势性的反映。

资料现势性评价，与专题地图所采用的表示方法有关。定性表示法比定量表示法容易保持现势性；同样是比率符号，分级的较连续的、相对的比绝对的更容易保持现势性。

3. 编图资料的加工处理

由于编图资料是从各处收集而得，虽经分析、评价可以使用，但它们的量度单位、统计口径、统计与量测的时间等都不可能完全一致、统一，再由于有些数据需要经过适当运算或格式变换，才能更适宜于制作地图，因此，必须对编图数据及资料进行加工处理，这是专题地图设计中必不可少的前期准备。

用计算机对数据资料作各种预处理，对提高编图质量、缩短编图时间都十分有利，也是简单易行的。

5.3　地理底图的编制

1. 地理底图的作用

(1) 建立专题地图的"骨架"　专题地图是反映某专题信息的空间特征及分布规律的图形表示。但专题信息本身并不具有空间特征，只有将它们以地图符号的形式落实到具有地图基本特件的地理底图上时，才显示了专题信息的空间特征。

(2) 转绘专题内容的控制系统　从编制专题地图的具体步骤看，必须把大量各种类型的专题内容转绘到相应的空间位置，并且必须具有较高的几何精度，以保证专题地图的可量性与可比性。地理底图的数学基础，如地理坐标或平面直角坐标系、比例尺，以及地理底图所选取的地理要素，如水系、居民点、交通网、境界线以及地形等高线，不论哪种，都可以为专题要素的定位提供足够的精度。

(3) 更深入地提取专题地图的信息　专题信息总是自然和社会经济活动中某种客观存在的事物或现象，它们不会孤立地发生、发展，总是与其他地理现象相互联系或制约，这些地理要素经常就是底图要素。而地理底图中所选取的要素，如果不是以全要素选取的普通地图，也必定是其中某一个或某几个与所反映专题密切相关的要素。因此，专题信息所依附的地理底图，不仅能在底图上直接量测以获取信息，更重要的是通过专题要素与地理底图的相互联系，分析出更多专题内容的产生、分布、发展的规律。如地形、水系、交通网、居民点等对区域性的工业布局所产生的积极作用就十分明显。编图者如能正确组织底图内容，会使读图者可能汲取比编图者预期设想的更多的专题信息。

因此，地理底图是专题地图的地理基础，专题信息的存贮、表达、传递、提取，都必须通过底图才能实现。

2. 地理底图的内容和类型

底图内容的选取可以有详、有略。底图内容的选取是由拟编专题地图的内容、用途、比例尺以及区域地理特征确定。如反映森林分布，除水系起转绘控制的作用外，地形是必须选取的，而居民点、交通网、行政境界线一般都不必选取。编制教学地图时，底图要素也应尽可能减少。在一般情况下，底图内容随比例尺的减小而减少是正常的。而在考虑区域地理特征时，水网密布区的河流在选取时删减的幅度要比河流稀疏区大，但其总量仍应比稀疏区多。

不同的表示方法也会影响地理底图内容的选取。如以点状定位符号表示区域的气候特征时，底图内容可详细些，但以等量线表示同一专题时，底图内容就要少些。

地理底图可分为工作底图与出版底图两种。两者不仅整饰精度不同，内容

的详略也有不同:工作底图的内容比较详细,利于转绘专题内容,有时就以国家基本地形图作为工作底图 出版底图往往比工作底图的内容简略不少,因为这时的底图已不必具备转绘功能,只需对专题内容起定位的作用,更重要的是能体现专题内容与有关地理要素的相互关系即可

地理底图是专题地图的地理基础,底图内容选取过少就不能发挥应有的作用;但底图要素毕竟又是在第二层次出现的,如果内容过于繁杂,反而干扰主题内容。这两种情况都会影响易读性及专题地图的整体效果

3. 地理底图编制

地理底图一般以相同比例尺的普通地图为基本资料进行编绘,它与普通地图的编制方法十分相似。

在底图编制中,必须注意几个问题:

(1) 专题内容较多或者编制专题地图的时间较紧迫时,可考虑直接选用相应比例尺的国家基本比例尺地形图作为基础底图。在制图技术人员较少的单位也以采取这种做法较为稳妥。这种底图通用性较好,数学精度能有保证,但专题适用性较差,还会造成图面上底图要素与专题要素混杂不清,对专题地图的整体效果影响较大。因此,只要有可能,还以自编专用的地理底图为好。

(2) 工作底图的编制应尽早进行,初稿还需经过缜密的审校,并必须在正式编制专题地图之前将地理底图交付编图人员使用。

(3) 底图符号和注记的规格不宜繁杂,在保证足够的数学精度前提下,图形的综合程度宜适当加大。底图的用色宜浅淡些,色数要少,工作底图更以单色(如浅蓝、钢灰、淡棕)为好。

§6 专题地图设计

专题地图设计就是将专题信息以图形进行表达与传输的过程,它可以包括:表示方法的设计与选择,图例设计,图面配置的总体效果及具体安排,色彩(含网纹)设计。以同样的数据及资料进行地图设计,可以得到很多种可供选择的方案,我们所能见到的,或主观上所想象的,并不一定就是成功的设计。这需要设计人员充分运用设计基本原理与方法,通过反复比较,选择符合编图目的、容易为读图者理解与接受的优选方案。专题地图设计是专题地图编制中非常关键、并且又是十分具有创造性的环节。

6.1 表示方法的选择

专题地图表示方法，是以各种类型的地图符号为基础的。有关地图符号设计的基本原则、分类、符号的图解变异，符号的功能，都已经在论述地图符号的章节中作了系统论述。然而，符号作为专题信息的载体，除了它们各自所含有的信息外，当它们以一定的集合形式表现在专题地图上时，还可能包含着超过符号总量的潜在信息量，这在很大程度上取决于是否通过比较、试验后选用了最合适的表示方法。

表示方法的选用受到许多因素的影响，这些因素主要包括：

(1) 被表示物体和现象所要求的精度和定位程度　不同的专题现象及数据形式，需要不同的表示方法与之相适应。这里所指的不同专题现象及数据形式，可以包括：这些现象是点状、线状还是面状的；是连续还是离散的；是固定还是移动的；是表示数量特征还是质量特征的；是表示自然现象还是社会经济现象的；等等。如定性信息的面状制图可精确表示定性的位置特征，动线法可表示事物的动态位置，比例圆、分割圆、等值区域分区制图等可精确表示点状或面状要素的数量特征，而形象符号等只能概略表达事物的外形特征。

(2) 制图资料的情况　资料是构成符号及表示方法的基础。资料的精度以及分类、分级的详细程度、分布范围及随时间变化的动态特征，都会直接影响表示方法的选择。同样是表示某专题现象的区域分布特征，有足够详细的数据，就可选用点值法进行定量表示，资料比较简略，只能采用范围图给予定性表示。

(3) 专题数据的特点　专题数据若相对集中，彼此差距不大，可用绝对比率；相反，若差距很大，只能采用条件比率。专题数据量较少时，可用连续比率；数量较大时，则采用分级比率为宜。如还考虑到地图的使用年限，专题统计数据的变化较少、变幅数小，可选用绝对比率；如随不同的年份数据变化较快、变幅较大，仍选用绝对比率表示的图件会很快显得过时，而采用以条件、分级比率表示，就可延长图件的适用年限。

(4) 地图的用途、比例尺和区域特点　不同用途的地图在表示内容的详细性、精度、易读性等方面都有不同的要求。同样的专题数据(如某城市的就业水平)用于科研还是用于宣传教育，表示方法必然不同；专业人员用图与中小学的教学用图，表示方法也会不同。随着比例尺的缩小，同一制图区域专题现象的图形面积及可读精度发生变化，会使表示方法相应简化或从定量表示过渡到定性表示。人口数据从点值图向范围图的过渡就是一个例子。区域地理特征不仅影响专题现象表示的重点，而且对这一专题现象在不同特性的区域应选取的表示方法也会产生影响。

6.2 图例设计

图例是地图上所使用全部地图符号的说明。图例对地图信息传递的全过程都具有重要意义。在地图制作阶段,通过图例的确定,可对地图编绘过程中共同工作的所有人员产生一种具有约束性的、明确的、不可改变的作用,即必须按照图例的规定把空间信息转换成地图信息。在读图用图阶段,图例起着从地图模式转换为获取空间实际状况的作用。而只有当读图者理解了图例的内涵后,才有可能真正实现将地图符号模型恢复为现实空间。由此可见,图例设计是地图编制中相当重要的环节。

图例可以分为两种,上述第一阶段的称为工作图例,它的对象主要是编图人员;第二阶段称为应用图例(出版图例),它的对象则以读图、用图者为主。应用图例可以认为是工作图例的一种简化,它只需要对出现在图幅中每个符号作出准确、简练的说明,而不必像工作图例,还必须为编图者规定这些图例的形式、尺寸、字级以及适用范围等许多规则。一般所指的图例设计,就是应用图例的设计。

图例设计应遵循一些基本要求,其中最主要的是图例符号的完备与一致性,以及图例系统的科学性。完备性主要指图例应包括图幅中所有出现的专题符号。普通地图的符号,在专题地图的图例中可以省略。图例符号的一致性,对点状、线状、面状符号有不同的含义:对点状符号是指在形状、尺寸、色彩、结构等方面与图内相应符号要保持严格的一致,而对线状、面状符号而言,情况就比较复杂,可以理解为图面与图例符号相对应图形变量的同类性。如线状符号,应选取能概括该符号完整外形特征的线划,并保持尺寸、色彩的一致;面状符号表示的专题现象分布,形状是不固定的,图例中通常以矩形的方式统一替代,但在色彩(或网纹)上与图内相同类别一致(图6-21)(彩图6-14)。图例系统的科学性表达了多种含义,主要在于能设计出专题内容的科学体系,如各要素的层次及相互关系,指标的分类、分级,转换成图例系统的顺序和位置,通常应将主要的排在前面,并明确标注出质量概念以及所代表的数值、单位。对一些复合的或多变量的图例符号,可以列成图表(彩图6-15)。在以色级表现数量差异时,要注意以等量线或等值区域制图(分级或分区)对数据系列不同的标注方式,并按惯例,从左到右或从上到下,对应的数据顺序从小到大排列(图6-22)。

此外,图例符号的设计还应考虑艺术性、易读性以及便于制作等。

地利用现状图

北

金沙江路

北新泾镇

图例

工业用地
农村宅基地
仓储用地
苗圃绿化地
交通用地
农业用地
市政用地
河浜水面、道路
文教用地
未利用地
商业用地

图6-21 图例符号的一致性

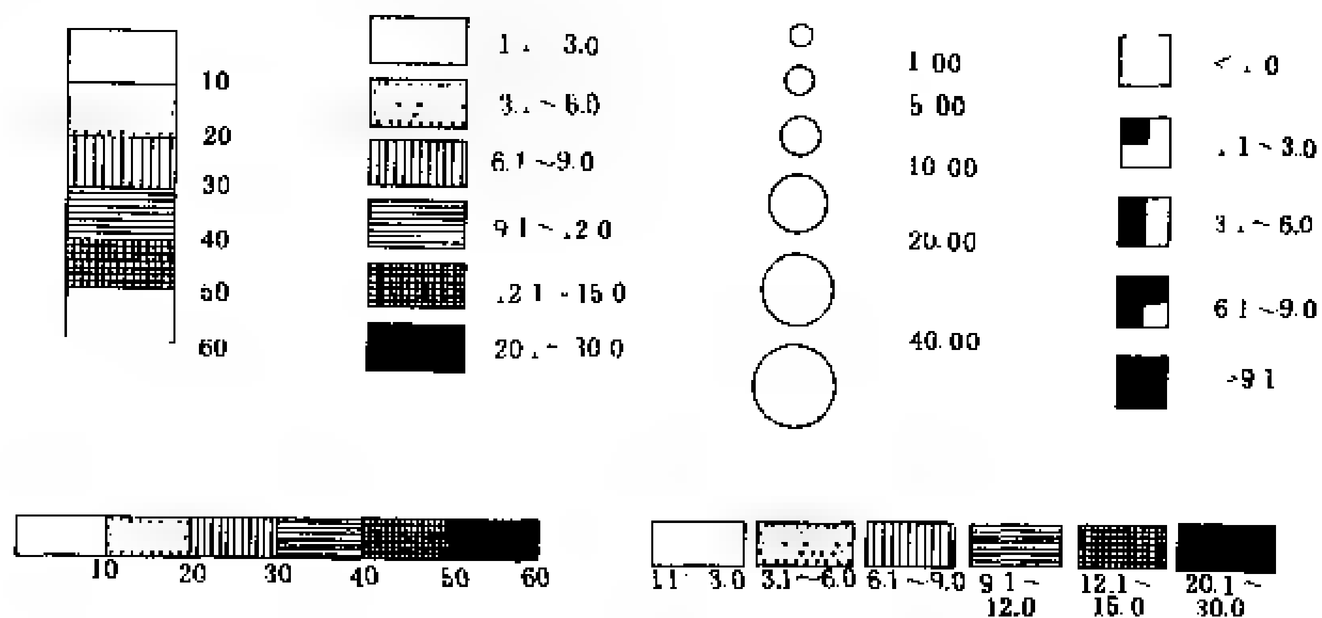


图6-22 图例的不同注记方法

6.3 图面内容的安排

图面内容安排也可称图面配置。在讨论对图面内容作具体安排之前，有必要对图面配置总体效果做简要的阐述。

1. 良好的图面配置总体效果

(1) 符号及图形的清晰与易读 有关符号设计的问题已在前面章节作过详细阐述。这里主要强调如何做到图面上符号的清晰与易读，这就要求线划必须清晰一致，色彩易于辨别、区分，符号的形状应不与其他特征混淆。符号与图形的易读主要取决于尺寸，这就要求所设计的符号不仅要精细，也要有足够的大小来满足使用和阅读需要。符号的形状和色彩对比，对易读性也有明显的影响。

(2) 整体图面的视觉对比度 视觉对比度是表达图形信息传递质量的重要指标。对比度太小往往造成较弱的感受效果。影响对比度的因素很多，例如图面上符号的尺寸和线条的宽度过多地一致，会造成对比度下降，可通过调节图形变量的数量(如形状或尺寸)来增加对比度。对比度也必须控制在一定程度。

(3) 图形与背景 为了使设计的专题内容能准确、高效地传递给用图者，使专题内容能成为可靠的、不受背景干扰的图形，必须突出表现专题现象的图形，处理好图形与背景的关系。在第四章中，已经较详细地列举了具体的做法。

(4) 图形的视觉平衡效果 这是地图图面设计中最有代表性、也可能是最重要的基本要求。地图是以整体的形式出现的，然而在一幅地图上，又是由多种要素与形式组合而成的。这就涉及若干有对应关系要素的配置，如主图与副图，陆地与水域，主图与图名、图例、比例尺、文字及其他图表(照片、影像、统计图、统计表)，彩色与非彩色图形。图形设计中的视觉平衡原则，就是按一定方法处理和确定各种要素的地位，使各要素显得更合理。这往往没有固定的标准，必须通过图廓范围内的试验，取得满意的组合。把这些试验做法归纳起来，就是要使图面中的各要素不要出现过亮或过暗，太长或太短，偏大或偏小，位置安排不当，与图廓靠得过远或过近。图形变量中色彩、亮度、尺寸、形状、密度、位置的调整，也都可能影响视觉平衡(图 6－23,6－24)。

(5) 图面设计的层次结构 专题信息的传递方式十分复杂，需借助内部结构的差异与组合来更好地表达信息群体。内部结构的含义是把各类现象(包括专题的与普通的)以其相对重要性置于传输通道的不同层面上，这就是图面设计的层次结构。处理好专题地图中不同层次的关系，也是取得良好总体效果的重要因素。

2. 图面内容的安排

在同一幅地图上，图面内容的安排包括：各种大小或类型的地图的配置；地

图的图名、图例、比例尺、统计图表、照片、影像、文字说明等的位置与大小；专题要素与底图要素的配合与取舍；专题内容与图廓的关系等。在很多情况下，一个

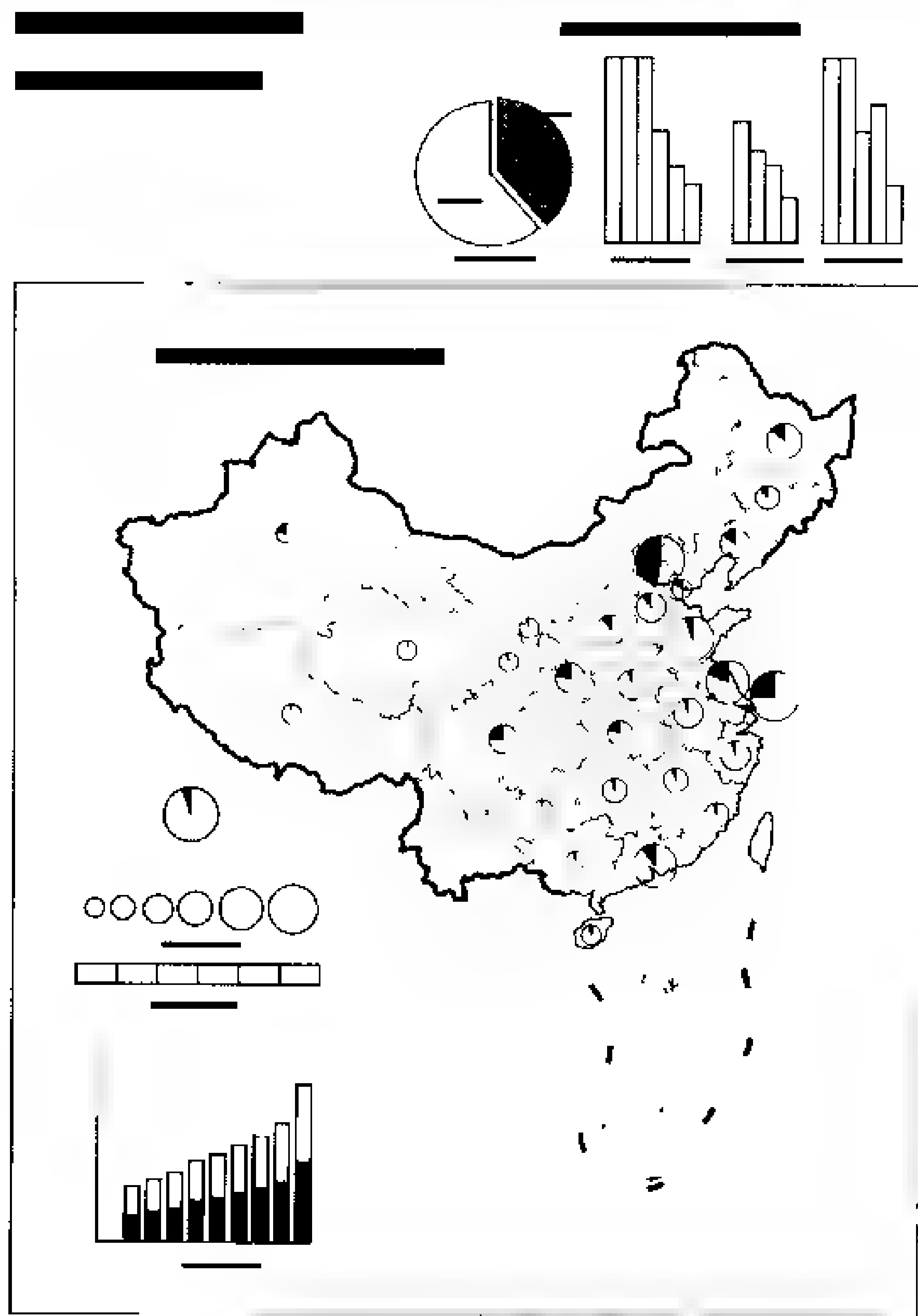


图6-23　视觉平衡的图型设计样图(Ⅰ)

幅面上所表示的不仅只有一幅地图，可能有多幅地图，而这些地图之间的关系可能是同等重要的，也可能有主、有次，幅面的大小、比例尺、区域范围、专题内容等也可能有很大不同。如何进行合理、有序的安排，是图面配置的重要内容。

(1) 主图　主图是专题地图图幅的主体，应占有突出位置及较大的图面空间。同时，在主图的图面配置中，还要注意几个问题：

① 在区域空间上，要突出主区与邻区是图形与背景的关系，增强主图区域的视觉对比度。

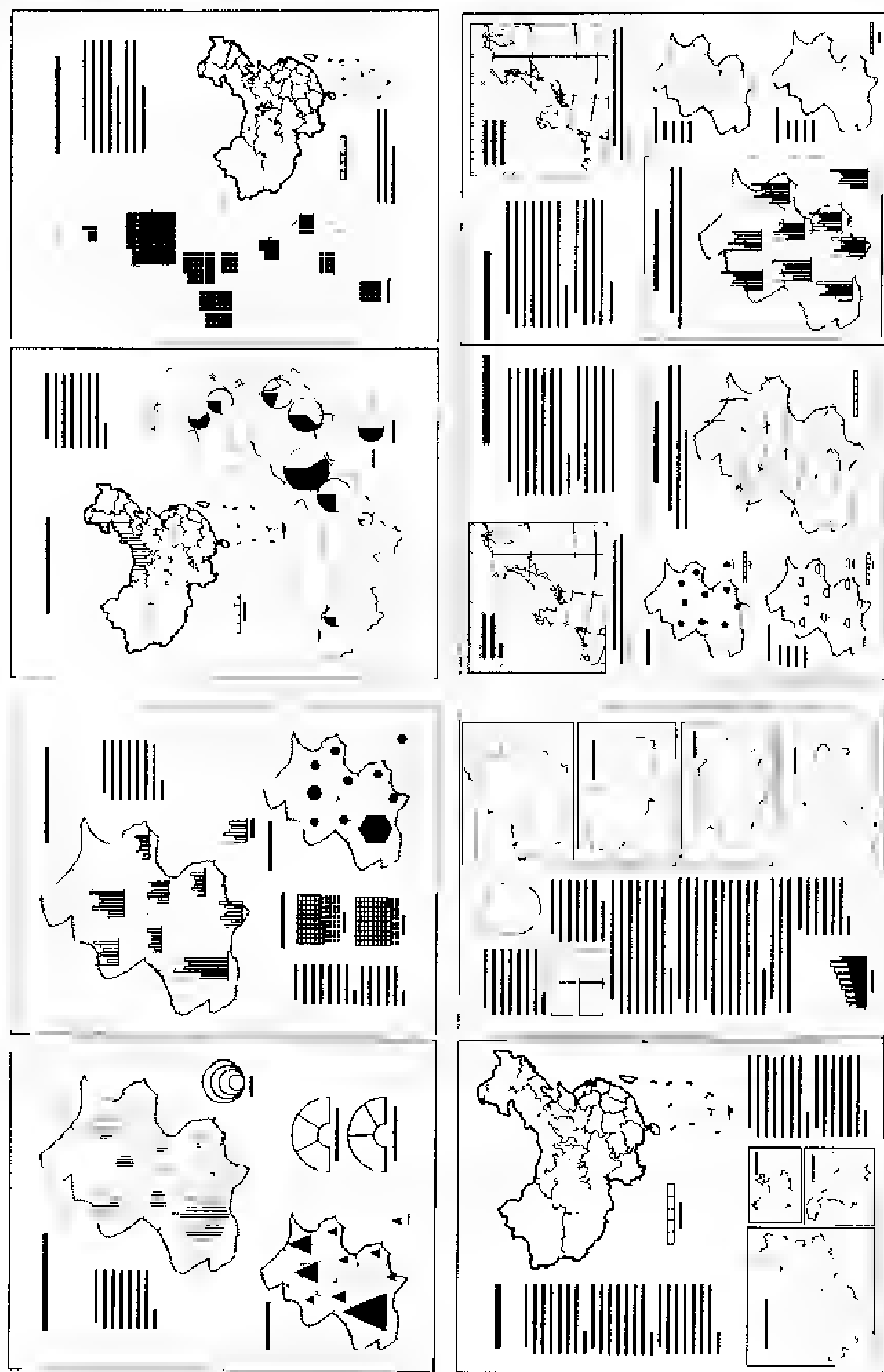


图6-24 视觉平衡的图面设计样图(Ⅱ)

②主图的方向 一般应按惯例定为上北下南。如果没有经纬网格标示，左、右图廓线即指示南北方向。但在一些特殊情况下，如果区域的外形延伸过长，难以配置在正常的制图区域内，就可考虑与正常的南北方向作适当偏离，并配以明确的指向线(图6-25)。

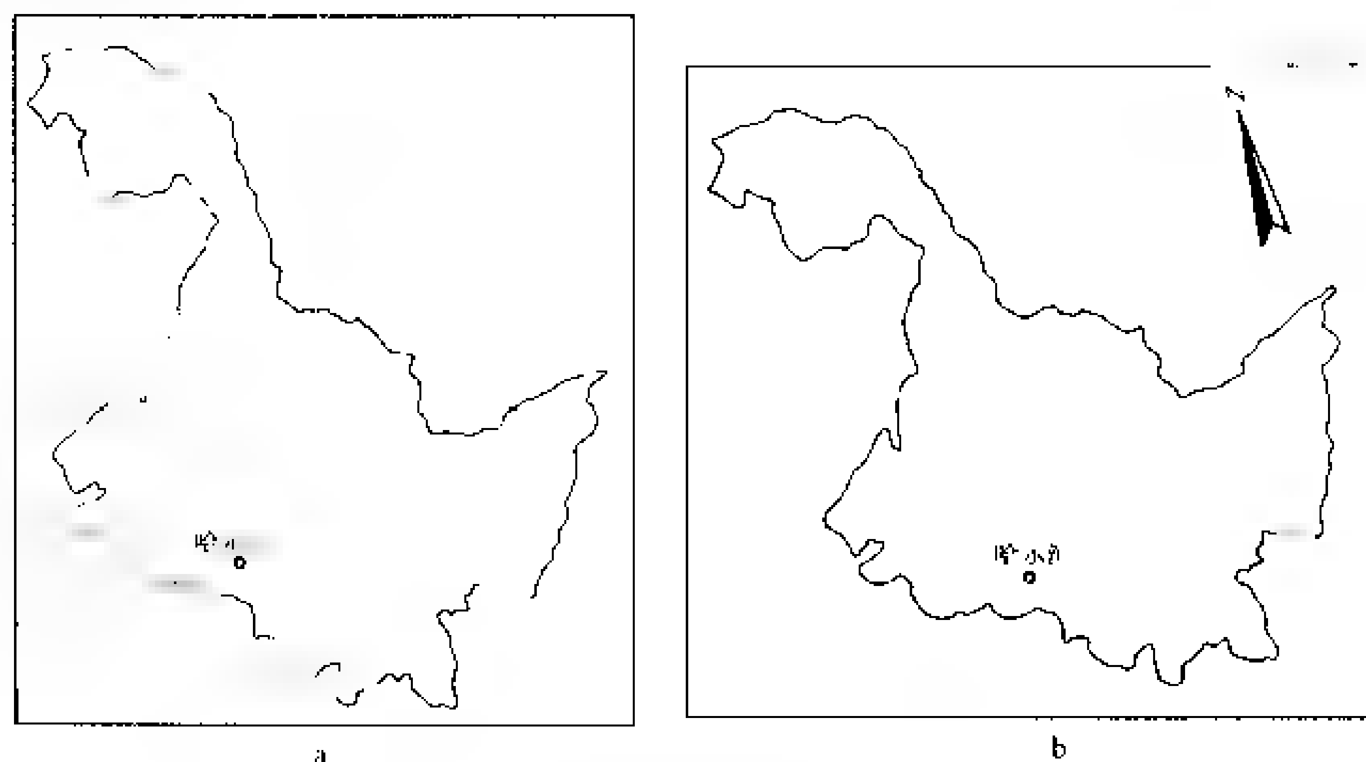


图6-25 主图的方向

③ 移图 制图区域的形状、地图比例尺与制图区域的大小难以协调时，可将主图的一部分移到图廓内较为适宜的区域，这就成为移图。因此，移图也是主图的一部分。移图的比例尺可以与主图比例尺相同，但经常也会比主图的比例尺缩小，移图与主图区域关系的表示应当明白无误(图6-26)。假如比例尺及方向有所变化，均应在移图中注明。在一些表示我国完整疆域的地图中，经常在图的右下方放置比例尺小于大陆部分的南海诸岛，就是一种常见的移图形式。

④ 重要地区扩大图 对主图中专题要素密度过高，难以正常显示专题信息的重要区域，可适当采取扩大图的形式处理。扩大图的表示方法应与主图一致，可根据实际情况适当增加图形数量。扩大图一般不必标注方向及比例尺(图6-27)。

(2)副图 指补充说明主图内容不足的地图，如主图位置示意图、内容补充图等。一些区域范围较小的单幅地图，用图者难以明白该区域所处的地理位置，需要在主图的适当位置配上主图位置示意图，它所占幅面不大，但却能简明、突出地表现主图在更大区域范围内的区位状况(图6-28)。内容补充图是把主图上没有表示、但却又是相关或需要的内容，以附图形式表达，如地貌类型图上配一幅比例尺较小的地势图，地震震中及震级分布图上配一幅区域活动性地质构造图等。

(3) 图名 图名的主要功能是为读图者提供地图的区域和主题的信息。表

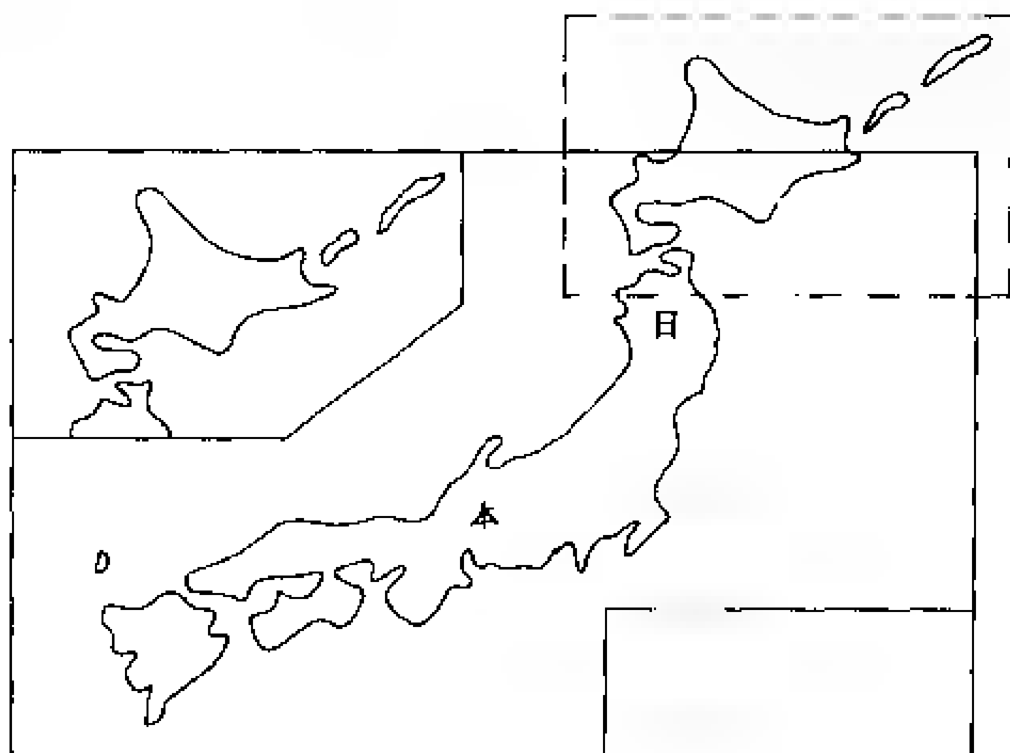


图6　26　移图

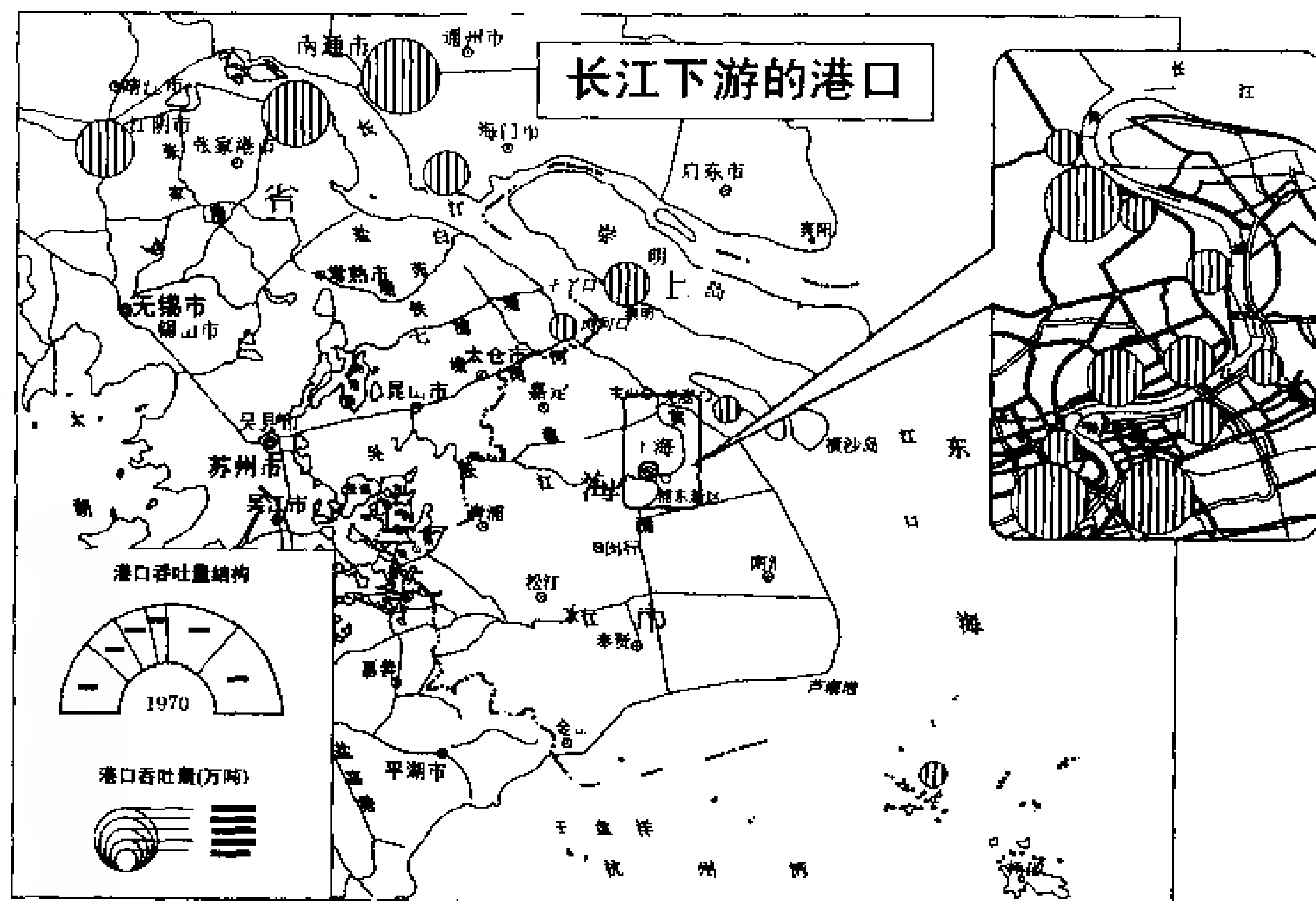


图6　27　重要地区扩大图

示统计内容的地图，还必须提供清晰的时间概念。图名要尽可能简练、确切。组成图名的这三个要素(区域、主题、时间)如已经以其他形式作了明确表示，可以酌情省略其中的某一部分。例如在区域性地图集中，具体图幅的区域名可以不用。图名是展示地图主题最直观的形式，应当突出、醒目。它作为图面整体设计

的组成部分，还可看成是一种图形，可以帮助取得更好的整体平衡。一般可放在图廓外的北上方，或图廓内以横排或竖排的形式放在左上、右上的位置。图廓内

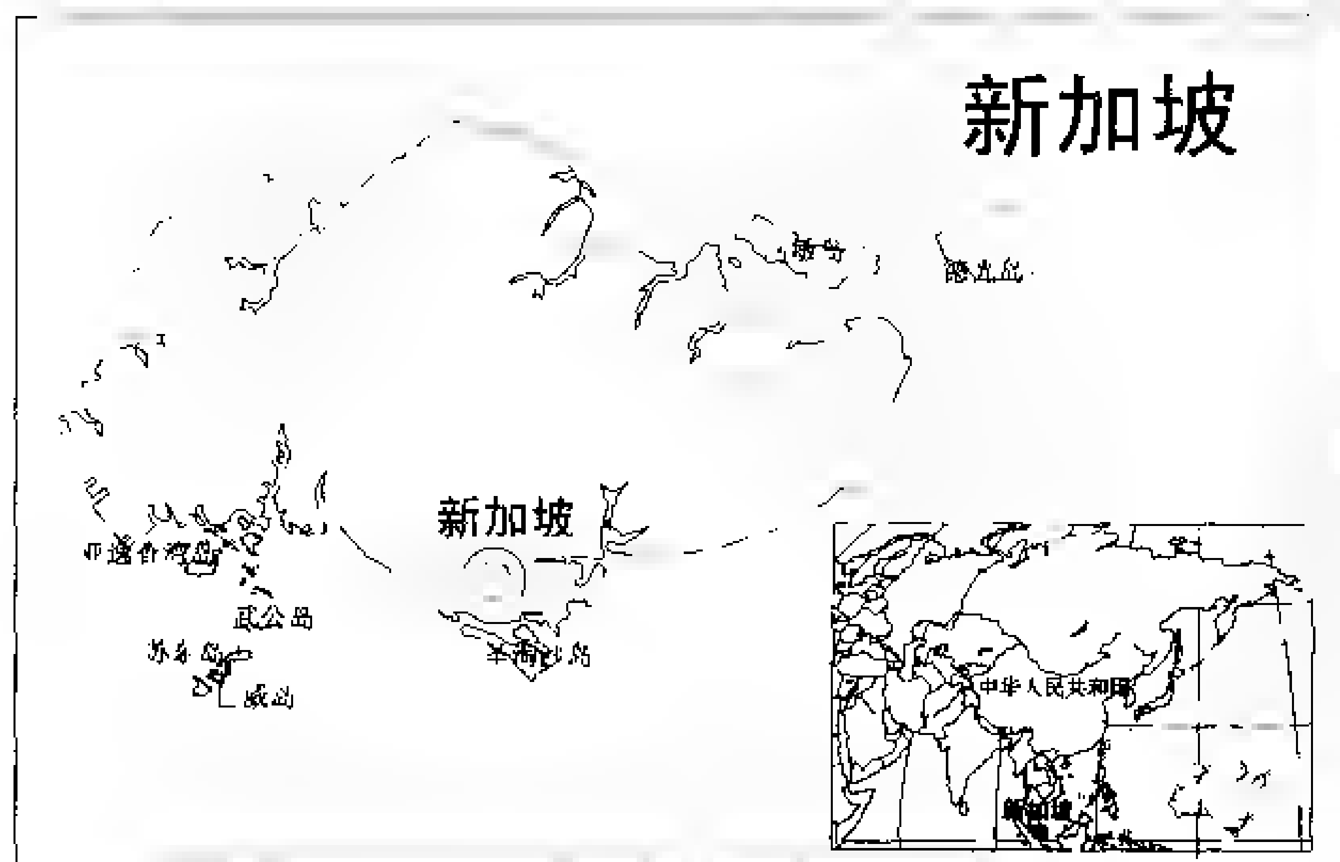


图6-28 副图——位置示意图

的图名，可以是嵌入式的，也可以直接压盖在图面上，这时应处理好与下层注记或图形符号的关系(图6-29)。

(4) 图例 图例应尽可能集中在一起。虽然经常都被置于图面中不显著的某一角，但这并不降低图例的重要性。为避免图例内容与图面内容的混淆，被图例压盖的主图应当镂空。只有当图例符号的数量很大，集中安置会影响主图的表示及整体效果时，才可将图例分成几部分，并按读图习惯，从左到右有序排列。通过对图例的位置、大小，图例符号的排列方式、密度、注记字体等的调节，还会对图面配置的合理与平衡起重要作用(图6-30)。

(5) 比例尺 专题地图的比例尺一般被安置在图名或图例的下方。专题地图上的比例尺，以直线比例尺的形式最为有效、实用。但在一些区域范围大、实际的比例尺已经很小的情况下，如一些表示世界或全国的专题地图，甚至可以将比例尺省略。因为，这时地图所要表达的主要是专题要素的宏观分布规律，各地域的实际距离等已经没有多少价值，更不需要进行什么距离方面的量算。放置了比例尺，反而有可能会得出不切实际的结论。

(6) 统计图表与文字说明 是对主题的概括与补充比较有效的形式。由于其形式(包括外形、大小、色彩)多样，能充实地图主题、活跃版面，因此有利于增强视觉平衡效果。统计图表与文字说明在图面组成中只占次要地位，数量不可过多，所占幅面不宜太大，对单幅地图更应如此。

(7) 图廓 单幅地图一般都以图框作为制图的区域范围。挂图的外图廓形

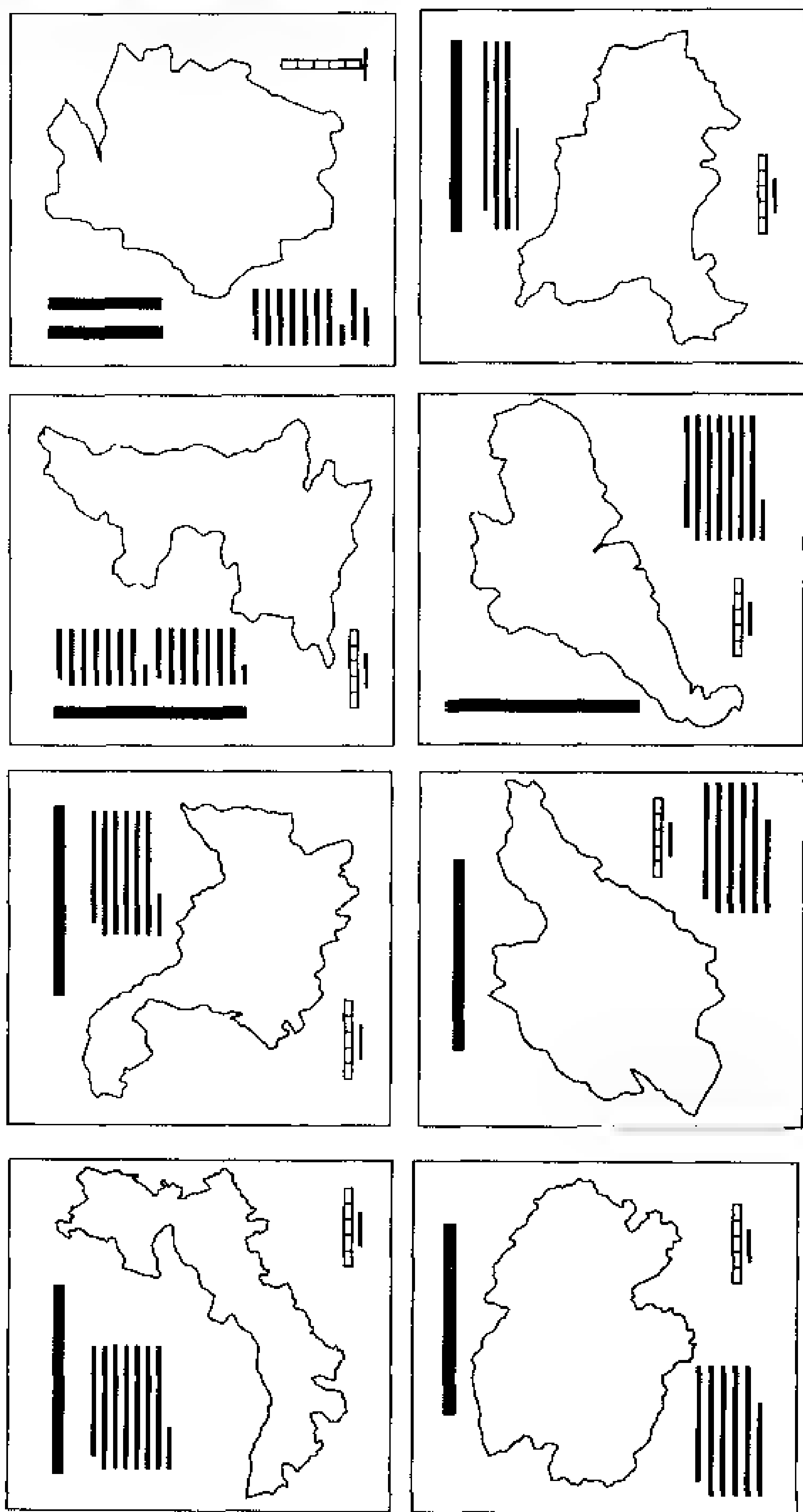
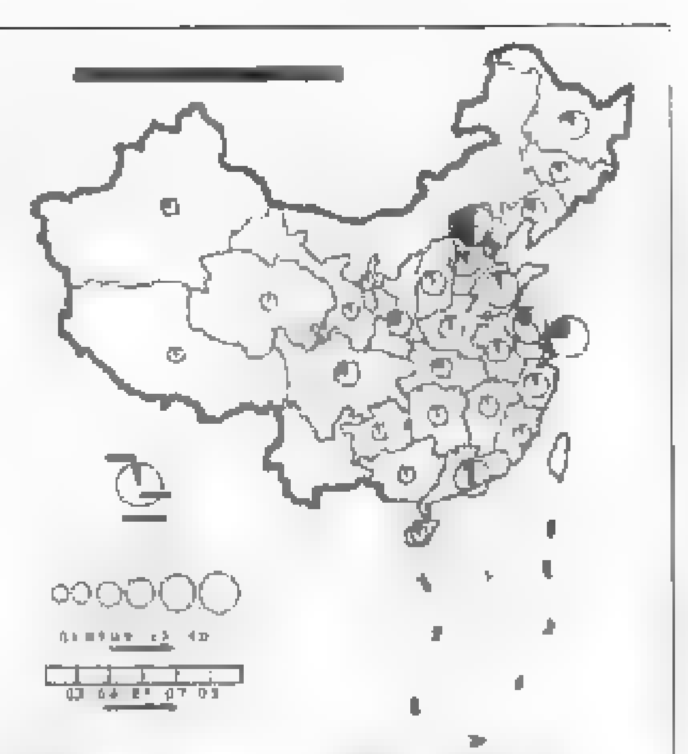
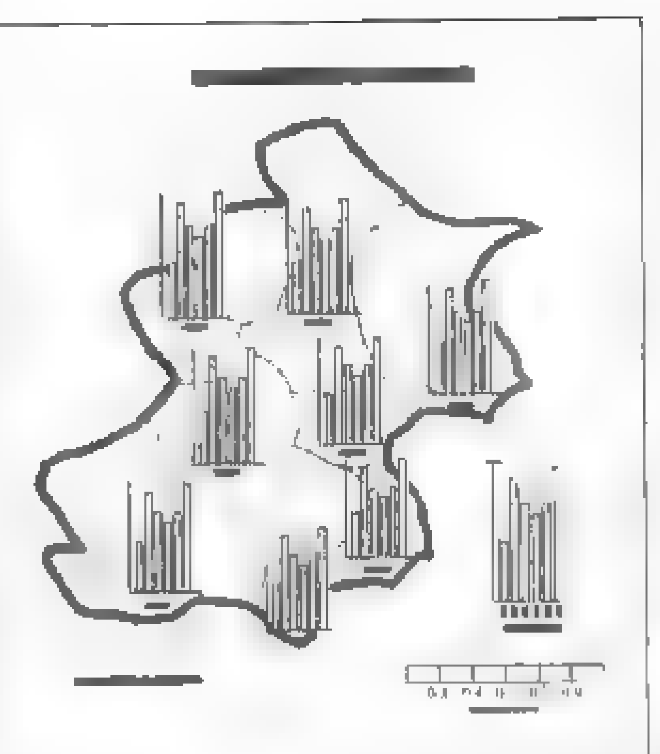
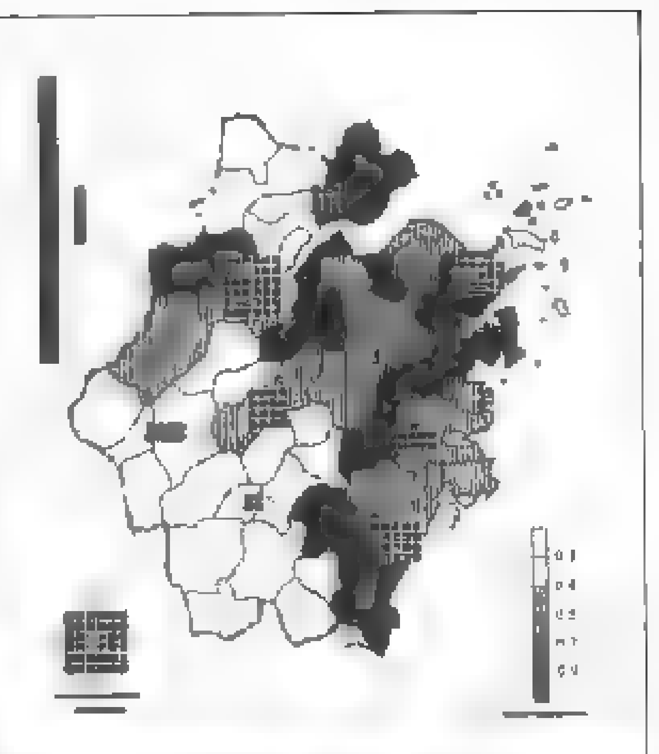
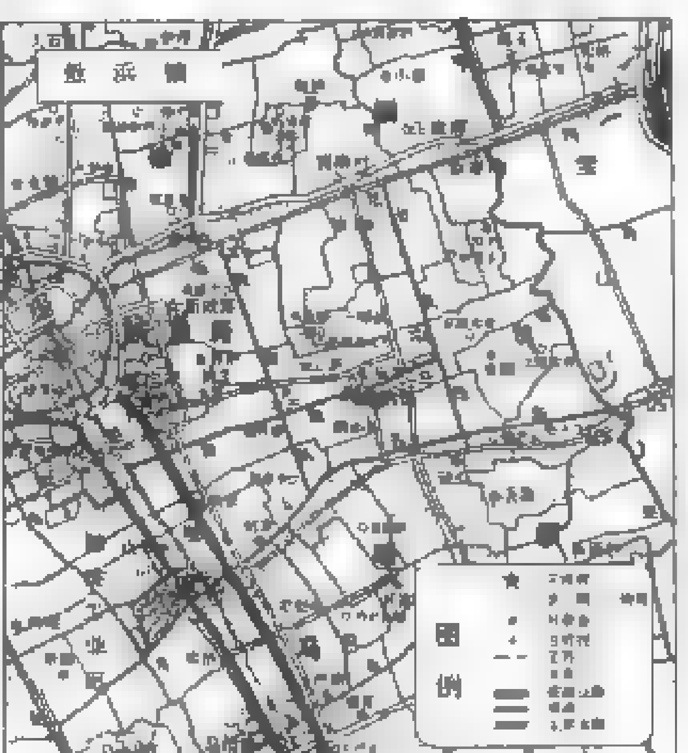


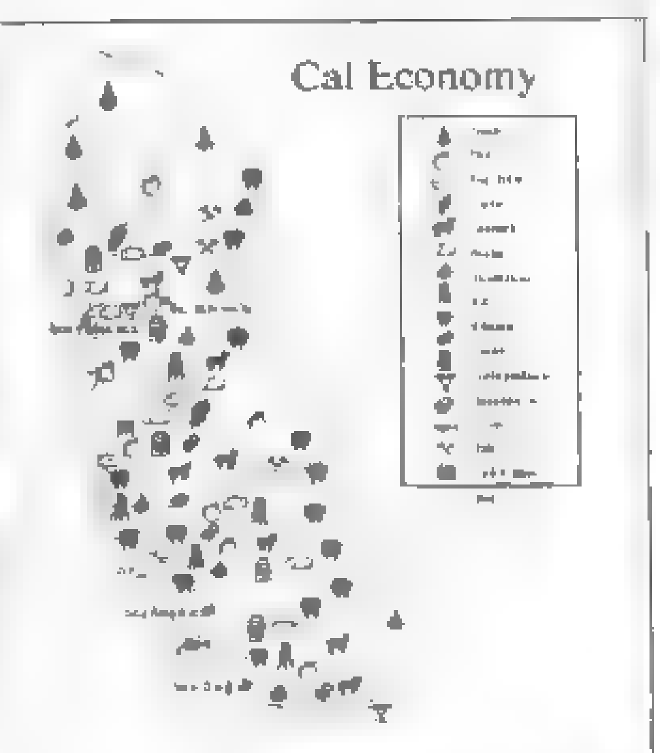
图6-29 图名位置的安排











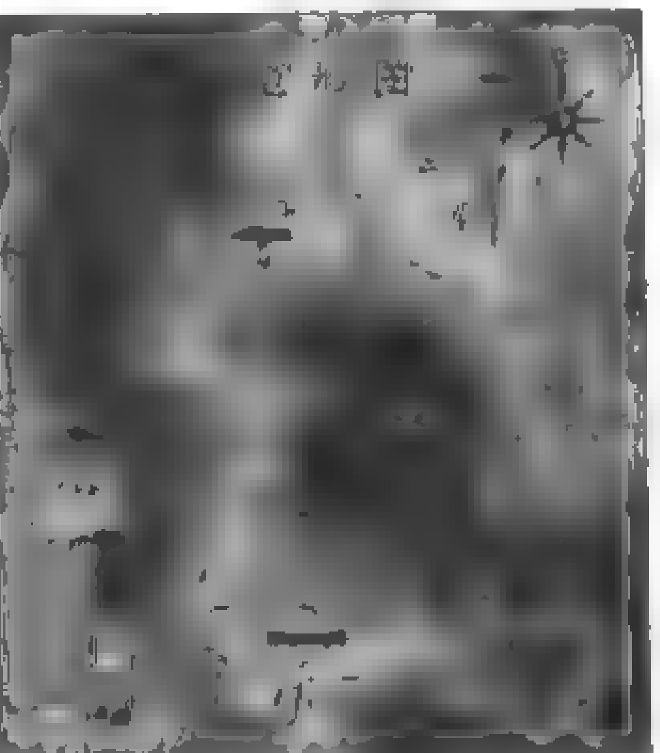


图 6-30 图例位置的安排

状比较复杂。桌面用图的图廓都比较简练，有的就以两根内细外粗的平行黑线表示内外图廓，有的在图廓上表示有经纬度分划注记，有的为检索而设置了纵横方格的刻度分划。

专题地图的图面配置，不像普通地图，特别是地形图那样在很多方面可以执行规范的要求，而必须由编图人员自行设计。图面配置是否得当，将会显著影响专题信息的传递，从而直接影响用图者的感受效果。

进行图面配置还应考虑地图的使用条件及经济效益的核算。地图的使用条件可有几种情况：阅读方式是桌面用图还是墙上用图；图幅组合是单幅图、多幅图、系列图还是地图集；显示方式是纸介质地图、计算机屏幕显示还是缩微阅读机显示。经济效益的核算是指在满足成图其他要求的前提下，版面利用率、纸张质量、色彩等因素对成本的影响

6.4 色彩与网纹设计

地图设色对提高地图的清晰性和易读性，增加整体图面的视觉对比度，增强地图的表现力，突出图形在背景上的轮廓，协调图形的视觉平衡效果，增加地图的层次结构，都有明显作用，是专题地图图形设计的重要内容。网纹对单色与彩色地图有不同的功效：对单色地图，能替代彩色的许多基本功能；在彩色地图上，网纹与彩色相结合，能补充与提高彩色地图的表现能力。

地图的色彩设计具有不同于艺术作品的原则，它必须在色彩基本原理基础上，充分考虑地图内容、用途以及表示方法，经过制图者的创意，取得图面设计的色彩效果。

1. 按照专题现象的不同特性，可以有不同的设色方法与要求：

（1）表示专题现象的质量差异或类别　运用色彩的色相差异，能简捷、有效地反映现象的质量差异。如以不同颜色反映结构符号、柱状符号、圆形定位符号中的质量差异；以不同色彩的点值反映同一主题不同现象的分布特点（如几个少数民族在同一区域的分布）；不同色带作为不同行政区的界线；不同色相对类型图上不同大类的区分（土地利用现状、地貌类型）；表示对象实地分布范围时，以不同色相进行划分（彩图 6 - 16）。

（2）表示专题现象的数量差异　区域内的数量分布可能是渐变、连续的，也可能是突变、不连续的。渐变、连续的数量变化以面状符号居多，如果用色相的差异较难把握，应以色彩的亮度变化较好；突变、不连续的数量分布以点状及线状符号居多，可采用色相变化，但要利用色谱带中的某一连续区间反映数量变化。点状及线状符号本身的尺寸（宽度或面积）有限，颜色的差异必须较明显才有较好的读图效果（图 6 - 31）。

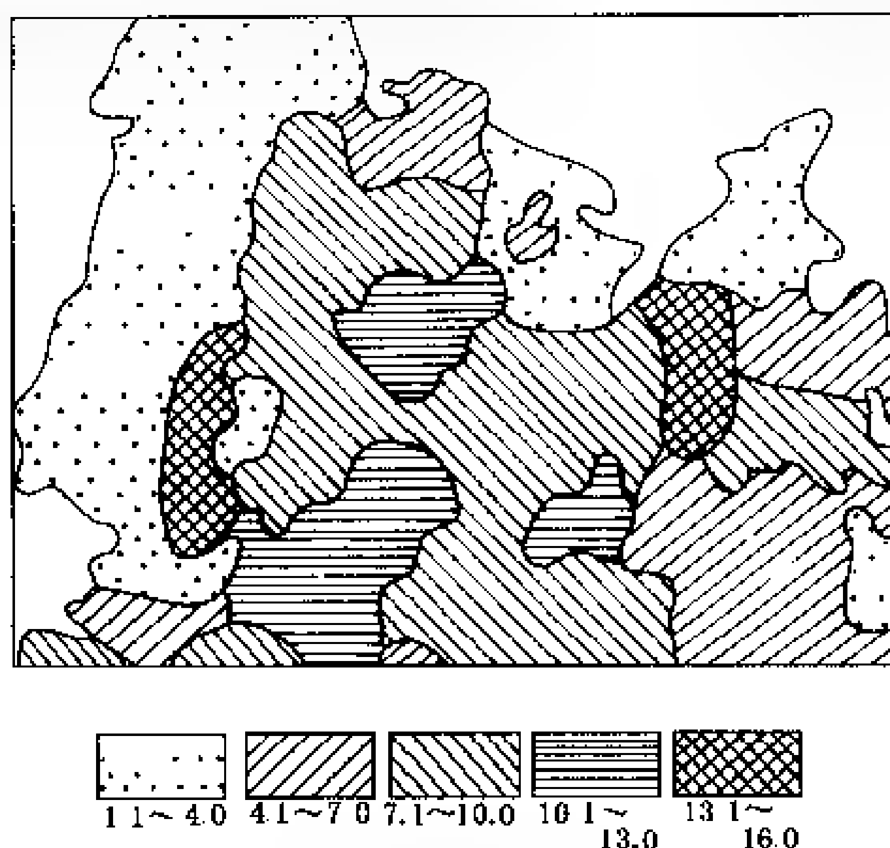


图6－31 色相差异表示专题现象的数量差异

(3) 表示专题现象的动态变化 运用色彩中前进色、后退色概念，以及色彩的深浅连续变化表示事物相对意义上的运动状态。这在以线状符号指示运动方向(运动线法)中运用最为直观、普遍，有时把点状符号给出从大到小的系列变化，也能取得象征性的动态效果(图6－32)

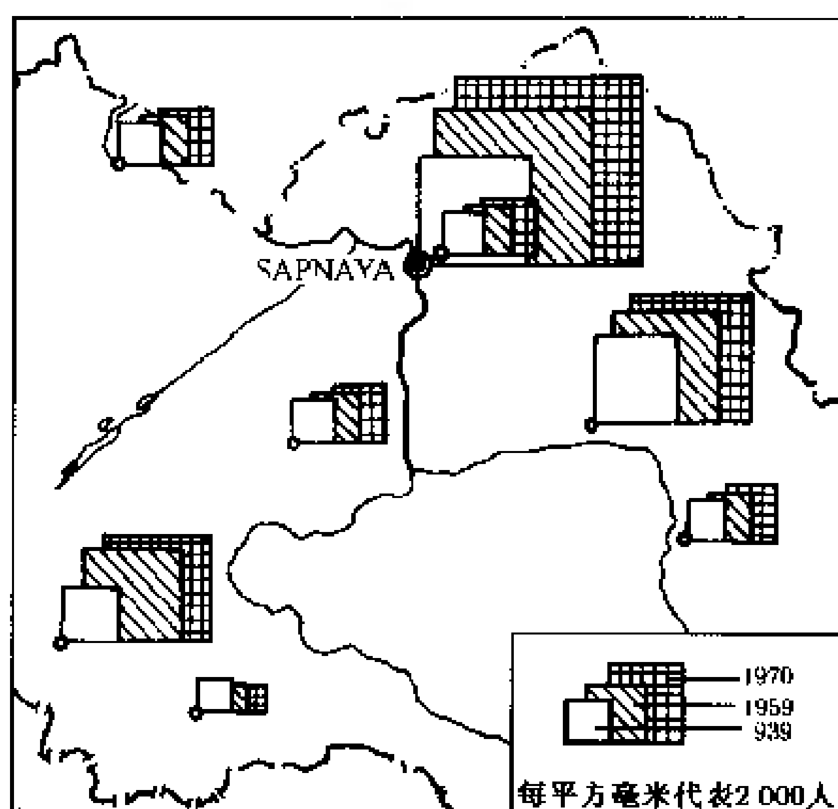


图6－32 色相差异表示专题现象的动态变化

2. 色彩设计应注意的几个问题

(1) 注意用色的双重意义 虽然不同的色相可以区分不同的质量，但应尽

可能结合色彩的象征意义及用色习惯

(2) 用色上的可分性与和谐性的统一　色相区分不同事物的效果最为直观，具有较高的可分性，但同时也使其缺乏足够的和谐；运用色彩中的亮度，甚至饱和度的差异来区分不同的质量差异或者在更多情况下的数量差异，能显示良好的和谐性，但同时却造成可分性的明显下降。因此，必须根据不同的图形特征，选择最有效的色彩可分性与和谐性的统一。

(3) 色彩设计时，对大小不同的图形面积采用不同的设色方法　点状符号一般较小，线状符号的宽度一般也有一定限度，都必须用较重的色彩加大差异性。即使对面状符号，在没有对符号有规范或比较习惯、固定用色的情况下，在制定图例符号的色彩时，就应考虑各类事物所占面积的比例多少与组成特点是分散或是集中。对图形面积小、符号分布分散的情况下，应设定较深、较重的色彩，这样不但增加易读性，而且也提高了层次结构及对比度。

(4) 色彩的数目及其组合的情况　这对制图工艺有很大关系，也会直接影响成图的成本，应予重视

§7 地图集编制

7.1 地图集的定义与特点

1. 地图集的定义

地图集是围绕特定的主题与用途，在地学原理指导下，运用信息论、系统论、区位理论，遵循总体设计原则，经过对各种现象与要素的分析与综合，形成具有一定数量地图的集合体。因此，地图集不是简单意义上多幅地图的任意叠加。

2. 地图集的特点

单幅地图、系列图以及地图集，都是以地图形式反映的科学和艺术的作品，但编制原则及编制方法均有所不同，导致概念与定义上也有一定差异。

地图集的特点主要有：

(1) 地图集是科学成果的综合总结　国家或区域性地图集，是衡量该国家或地区经济、科技发展水平的综合性标志之一，专题地图集则是专题研究水平的综合性标志，是与其他最终研究成果(文字总结、论文集等)具有同等重要意义的独立成果　地图集也能反映编制者在地图学方面的综合水平。

(2) 地图集对所选主题具有系统、完备的内容　以反映我国教育专题的地图集为例，首先选取了与发展教育直接有关的背景图件，然后以初等、中等、高等

教育三个层次对不同类型教育形式(全日制、成人业余、职业、特殊)及教育领域的不同专题作详尽的图形表述,用地图语言系统、完整地总结了我国教育事业的现状及发展。

选题内容的系统、完备,并不意味体系和内容"大而全",而应当紧扣主题,选取必须的、相关的图幅,删除与图集主题无关的图幅,合并对表现图集主题意义不太大或内容较少的地图。

(3) 地图集必须实现内容、形式等诸方面的统一与协调　统一与协调首要的是内容,同时还包括地图投影、比例尺、表示方法、地图概括、色彩系统、注记、图面配置等各方面。但统一不是单一,高质量的地图集应当既是统一协调、又是丰富多样的。

(4) 表示方法多样　各种不同类型的资料及专题内容,需要多种形式的表示方法支持。即使同一类型的资料或专题,也需要对相同表示方法采取形状、色彩、结构的变化,并运用多种图面配置加以配合,增强视觉感觉效果。应当尽量避免连续多幅地图、甚至整册图集在表示方法、色彩、图面配置上的雷同,如果这样,容易引起读图者产生疲倦的感觉,降低读图效果。

(5) 地图是科学性与艺术性相结合的成果　各类地图在科学性上的要求是共同的,而在艺术处理上,地图集就有更多的空间体现编图人员的创意,如色彩及符号的风格、图面配置、封面及装帧等。现有的许多计算机图形设计软件,更有助于地图的艺术创作。

(6) 编图程序及制印工艺复杂　地图集编制工作所涉及图幅的内容、数量及参加编图的人员,都大大超过单幅地图。因此,组织好编图过程,协调好编图人员的工作,制定科学、合理的制印工艺,都是十分复杂的。电子地图集的出现,进一步促进了地图制印技术的发展与提高。

(7) 地图集由于其集成化和系列化的特点,把不同的地域空间(如从世界—国家—地区—城市)与不同的要素(如自然、经济、人文、历史),从整体与局部、空间与时间、数量与质量等诸方面,为用图者有效地建立了多维、深入的空间认知环境。

7.2 地图集的分类

地图集的种类及成图方法多。地图科学的不断发展以及地图集显示的强大应用功能,使更多的领域及专业需要编制地图集,这就又增加了地图集的种类及成图方法。

按常用的几项指标:内容、用途、区域范围、成图方法,地图集都可以分为不同的类型。

(1) 按内容 地图集按内容可以分为普通地图集、专题地图集、综合性地图集 我国的《中华人民共和国国家地图集》就是由普通地图集、自然地图集、社会经济地图集和历史地图集四部分组成的特大型综合性地图集

(2) 按制图区域 地图集按制图区域可分为:世界地图集,包括大洲、大洋地图集;国家地图集;区域地图集。

(3) 按用途 地图集按用途可分为教学地图集、旅游地图集、军事地图集、参考性地图集等。

(4) 按成图方法 地图集按成图方法,可以分为传统编制工艺的地图集以及多媒体电子地图集两大类。目前,大部分地图集仍按传统编制工艺进行。20世纪80年代以来,加拿大、美国 荷兰等国家已制作了国家电子地图集或区域性、专题性的电子地图集。我国的《中华人民共和国经济地图集》、《中华人民共和国国家普通地图集》等大型图集的纸介质版出版后,也已着手进行电子版的编制,有的已经问世 这类电子地图集今后将凭借其科技优势而迅猛发展。而以传统方式编制的地图集,通常是一个时期或阶段人类认识客观世界以及科学技术发展的总结,也是当前对空间数据可视化最有效、最简便的工具。两种不同成图方式的地图集在今后仍将发挥各自的优点而长期共存。

7.3 地图集的编制方法

地图集的编制过程与单幅地图相同,也分为编辑准备,原图编绘,出版准备以及地图制印四个阶段。但是,地图集的编制是一项综合性很强的工程,涉及面十分广泛。因此要处理好编制工作中以下几个问题:

(1) 明确地图集编制的主题与对象 地图集的主题一般都由上级部门或专题研究的承担单位予以确定,但读图对象并不一定相应确认,需要反复研究。因为,同样的主题,可以作为科学研究成果的组成,可以用于管理部门决策和参考,也可供普通民众阅读使用。特别在地图集面对市场运行机制的今天,明确的读图对象是图集生存的前提。

(2) 确定地图集的结构 地图集的结构包括主要技术参数(开本、比例尺、纸张、用色数、印数等)、图组、图幅顺序、地图分幅等内容。

开本:开本大小主要取决于地图集的用途,也与制图区域的大小及内容的复杂程度有关。不适当地扩大开本,不仅成本大幅度增加,也给使用者带来不便。

比例尺:普通地图集应选用有限的几种比例尺,并尽可能成简单的整数比率关系,以使进行地域间的对比 专题地图集,特别是计算机成图的地图集,比例尺系列比较灵活,可根据专题内容、表示方法、图面配置的需要选择。

其他技术参数:选用什么样的纸张,用几种颜色,印数多少,在设计开始前就

应根据用途、对象、地图内容的需要确定。

图组及图幅顺序：地图集包括几个图组，每个图组包括哪些图幅，其先后的顺序如何排列，并不是单纯的技术问题，其体系与组合，体现了图集的科学性与逻辑性，直接影响图集的传递效果。综合性地图集一般由总图（或序图）、区域图（普通地图）、专题地图三部分组成，专题地图集一般由序图（背景条件图）、单要素专题图及综合性专题图等部分组成。在地图集的主要组成部分，还可以根据需要划分图组，将密切相关又可单独成体系的若干图幅组成图组。总图（序图、背景条件图）必须是能体现区域宏观时空规律或与专题直接相关的背景内容。普通地图集一般都按行政区域的级别由大到小作较固定的顺序排列，也可根据实际需要及区域发展作适当调整。专题地图的图组及图幅的排列，一般情况下，按区域：先大后小；按性质：先初级后高级，先自然后社会经济；按分析方法：先单要素后综合、先现象、后分析、再结论。但由于专题现象涉及的范围太广，编制图集还得从本专题的实际情况出发，以最合理、科学的方式进行编排。各图组所含图幅的数量应大体平衡。

地图分幅：指确定各图幅的制图区域范围、占用的幅面及拼版形式。地图分幅要使主题所在区域（行政区、经济区、自然区）保持完整。幅面及拼版方式除与内容的重要性及详细程度有关外，还与装帧形式有关，如展开页、单面页。比单面图幅更小的图幅安排，以及多幅相同主题图在同页中的组合，也属于图面配置中应考虑的内容（图6－33，6－34）。

（3）要安排好地图集的图面配置　地图集应以地图为主，文字只起辅助作用，所占幅面比例不应太大。较大型或综合性的地图集，经常在图集的最后安排附录，附录的主要部分是地名索引，还有基本地理资料、地图投影说明、常用数据等。

对每幅地图的图面配置，其基本要求与方法均和单幅地图相似。但作为地图集，往往会出现两幅以上等大或不等大的主图组合，应进行各种配置方案的试验，求得最佳的视觉平衡。经常运用的处理方式有（图6－35，6－36）：

· 需分为上下部分时，使上部稍大；分为左右两部分时，使右面稍大；

· 用图名、图表、图例、文字、影像、照片等形式的位置、大小、形状、色彩的变化，进行不同的配置；

· 使用不同的线段进行隔离；

· 主图大小不等，差异较大时，可采取局部迭置方式；

· 其他试验方案。

（4）地理底图编制　专题地图集的地理底图不像单幅地图是单一的，而是由许多不同区域及不同比例尺的地理底图组成。为了减少编制工作的重复，通常先编较大比例尺的基本底图，根据编图工作的需要对底图要素的内容进行相

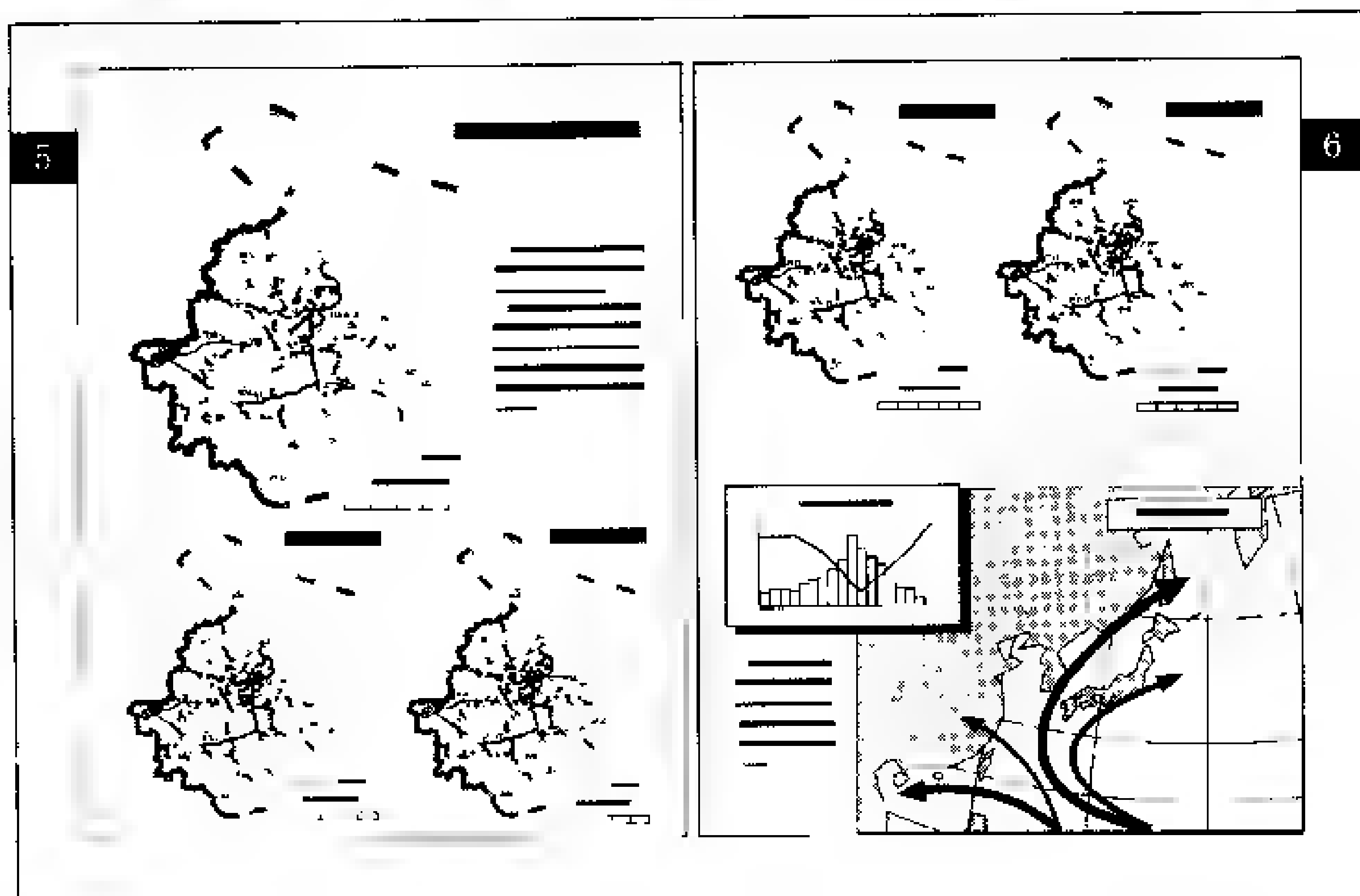


图6-33 地图拼幅样图(Ⅰ)

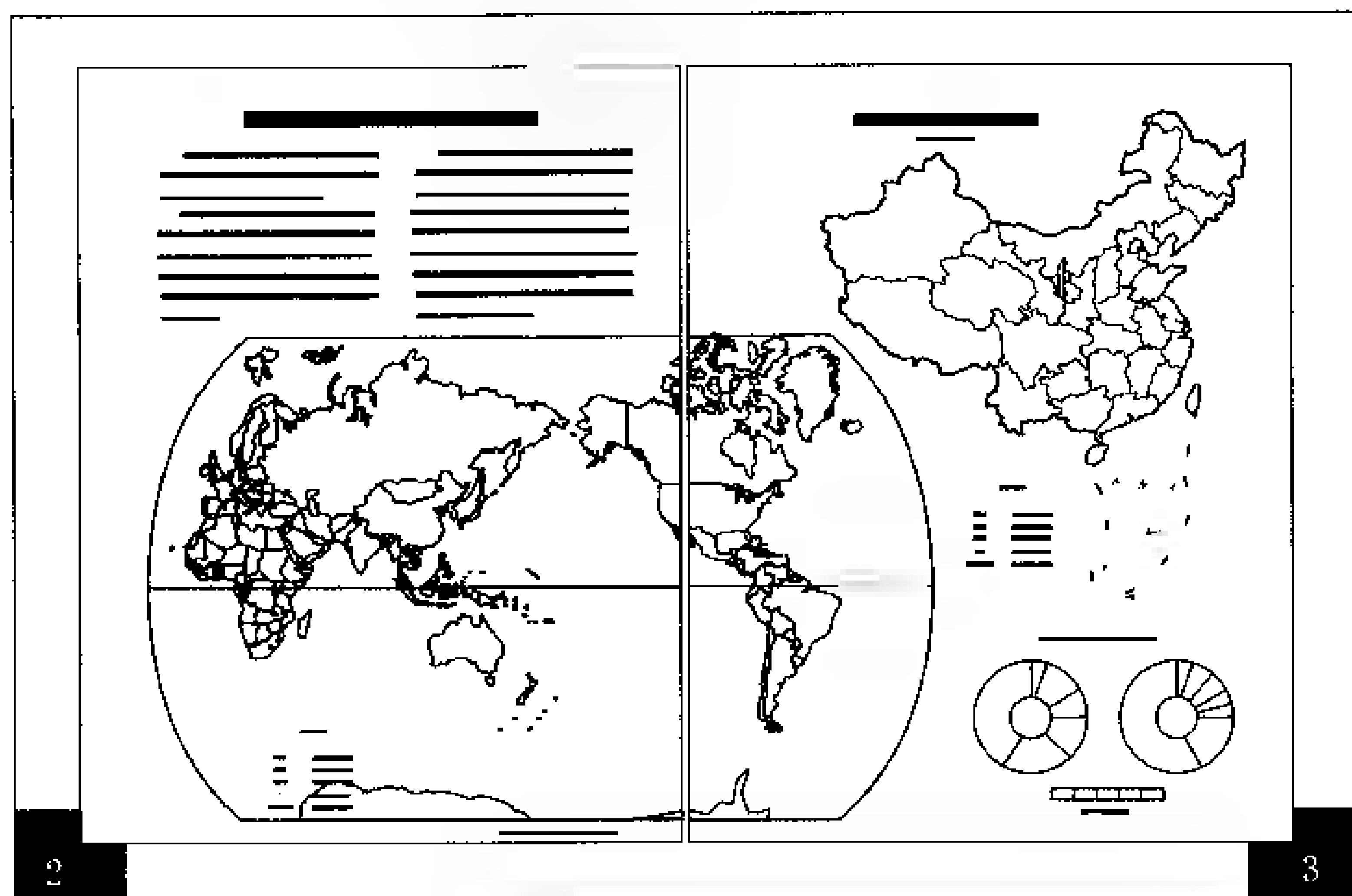


图6 34 地图拼幅样图(Ⅱ)

应的概括,制作较小比例尺的底图。在以计算机制作底图时,应事先对底图的图形要素及注记划定不同的层面,供数字化输入时参照执行,再制作较小比例尺底

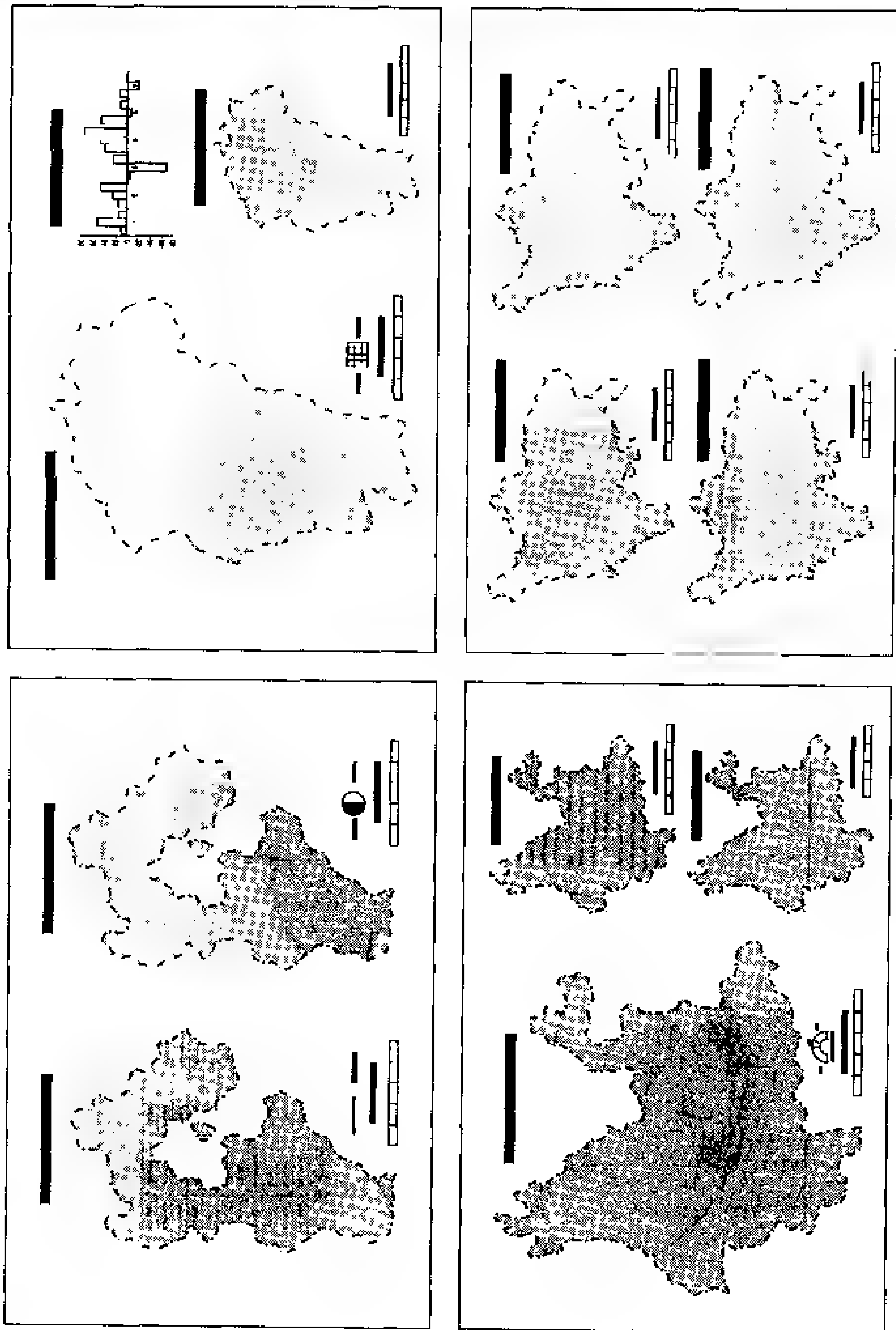


图6 35 地图的图面配置样图(Ⅰ)

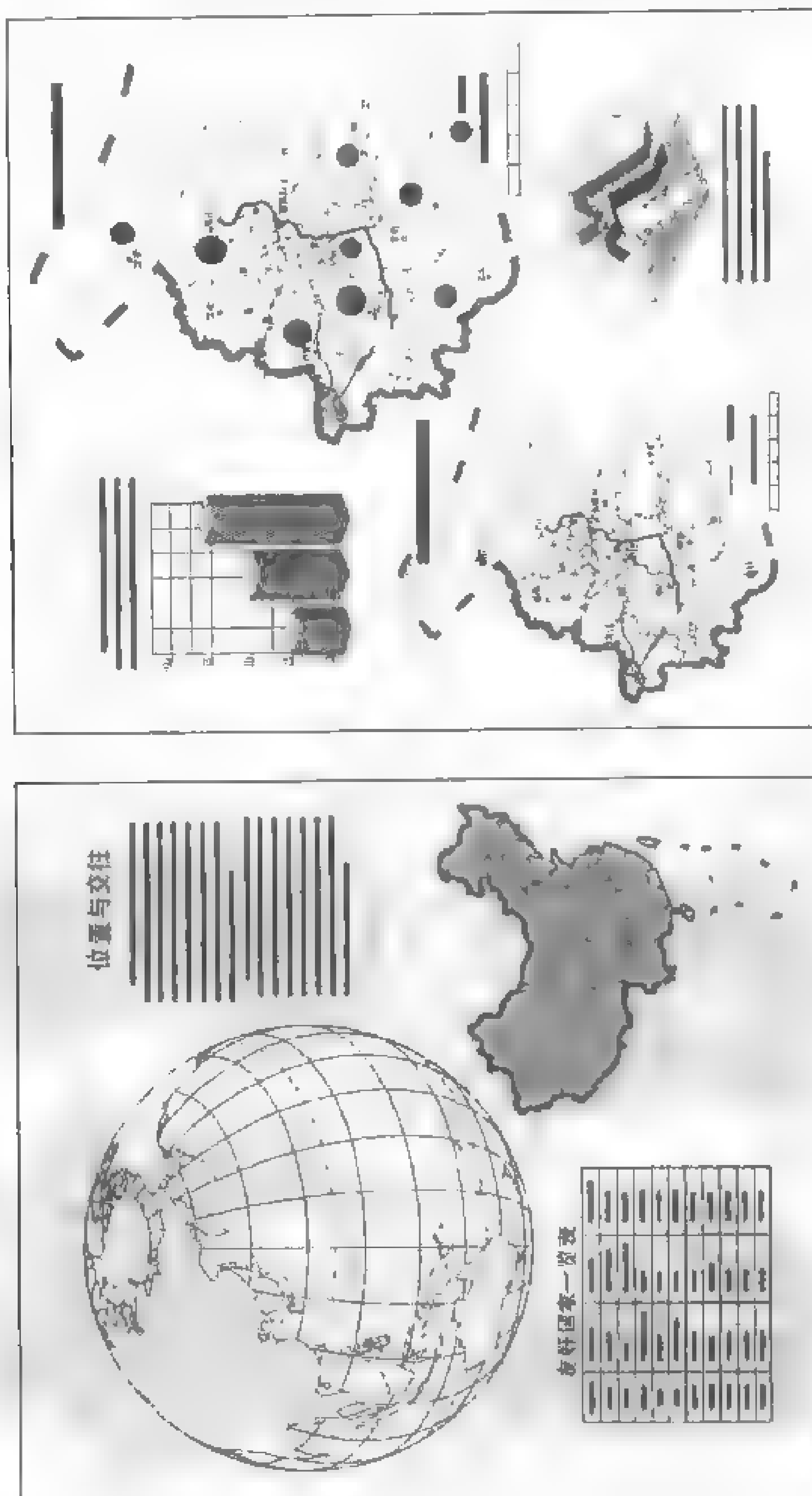


图6-36 地图的图面配置样图(Ⅱ)

图时,可采用合并、删减层面的办法取得预期效果。

(5) 把统一与协调的原则贯串于编制工作的始终 统一与协调原则是地图集编制工作中的一条基本原则,是保证图集科学性、实用性的关键。这条原则可以体现在许多方面,主要包括:

① 基础地理底图 由于制图区域及内容的不同,地理底图的投影、比例尺、内容及要素选取也必然不同。投影的类型可根据地域及专题内容的需要选择,宜少不宜多,同类型地图尽可能采用相同投影。图幅间比例尺虽有不同的系列,但对同等重要、内容相同,或有紧密联系的图幅,应尽量采用同一比例尺。不同比例尺底图的要素及内容的选取应当随比例尺或专题内容的变化作相应调整。

② 选题与结构 地图集一般都分为若干图组。图组的设置及所包括的图幅,应服从主题的需要。各图组的图幅内容及数量,既要保持相对平衡,更应按照完整表达主题思想的总目标而定,以城市环境综合治理图集为例,有的城市环境问题以水为主要矛盾,所选图幅中水环境有关的专题图数应超过其他环境要素,而有的城市,环境问题以大气为主要矛盾,则应以大气环境为选择图幅内容的主导环境要素。

③ 图幅内容及轮廓界线 图集中,相关图幅之间的内容都是相互联系或相互制约的,其地带性界线或专业类型界线也必然因相关而产生图形上的相似或相通。如我国的秦岭—淮河,不仅是自然分界线,同时也是地带性界线中的重要标志,对所在地域的土地类型、土地利用、土壤与植被分布及区划等,都会产生积极影响,在相关图幅中,这条界线的位置基本相同,但又因各要素的特殊性而不可能完全吻合。

④ 内容的分类、分级及图例系统 对相关图幅的分类、分级采用统一协调的做法,是为了更好地从发生、发展的规律找出其内在联系,更好地进行对比,从而得到比单幅地图的信息累加后更加丰富的信息量。地图集所获得的信息量增值,是由地图的潜在信息提供的。如有的专题地图集,对若干种与农作物生长有密切关系的微量元素进行统计分级时,并不简单地以各元素的含量作为分级的基础,而是统一地从它们对作物适宜程度出发,得出统一的评价标准后进行分级,这就能更有效地找到科学施用微量元素肥料、促进农业增产的途径。在统一协调分类、分级的基础上,就可制定图例。图例的排列应当统一有序,符合逻辑规律,一般从高级到低级、从主要到次要,其用色也相应地进行变化。

⑤ 表示方法和指标体系 同一专题中的不同区域或不同时相的一组地图,表示方法及指标体系应当一致,以便对比。如表示中华人民共和国成立以来6个不同典型年全国各地区的学校数,一方面全部采用同一种分级的等值区域制图,另一方面,尽管这6个典型年在数量上的差别很大,如果根据数量特点,每年采取不同的分级指标,效果可能较好。但实际上,这6个典型年是一个整体,要

说明一个总的规律,因此还是应当采取统一的分级指标,从而使各省市学校数量的分布、差异及随时间变化的规律一目了然(图6-37)。

⑥ 地图概括 地图集对相关的专题要素及底图地理要素应有相同的取舍标准。

⑦ 符号系统与注记 各类符号(特别如象形符号)的设计风格应一致,表示图集中同类事物的符号形状及注记字体应当一致。图集应对符号注记的最大最小尺寸有统一的标准,图面符号及注记不应随底图比例尺的缩小而跟着缩小,使全图集有统一、协调的符号和注记系列。

⑧ 文字说明 图集的什么层次应该配文字说明(如图组还是每一图幅)应有较统一的规定。文字说明的体例、内容应较统一,字数应与所表达的内容相适

各典型年学校数

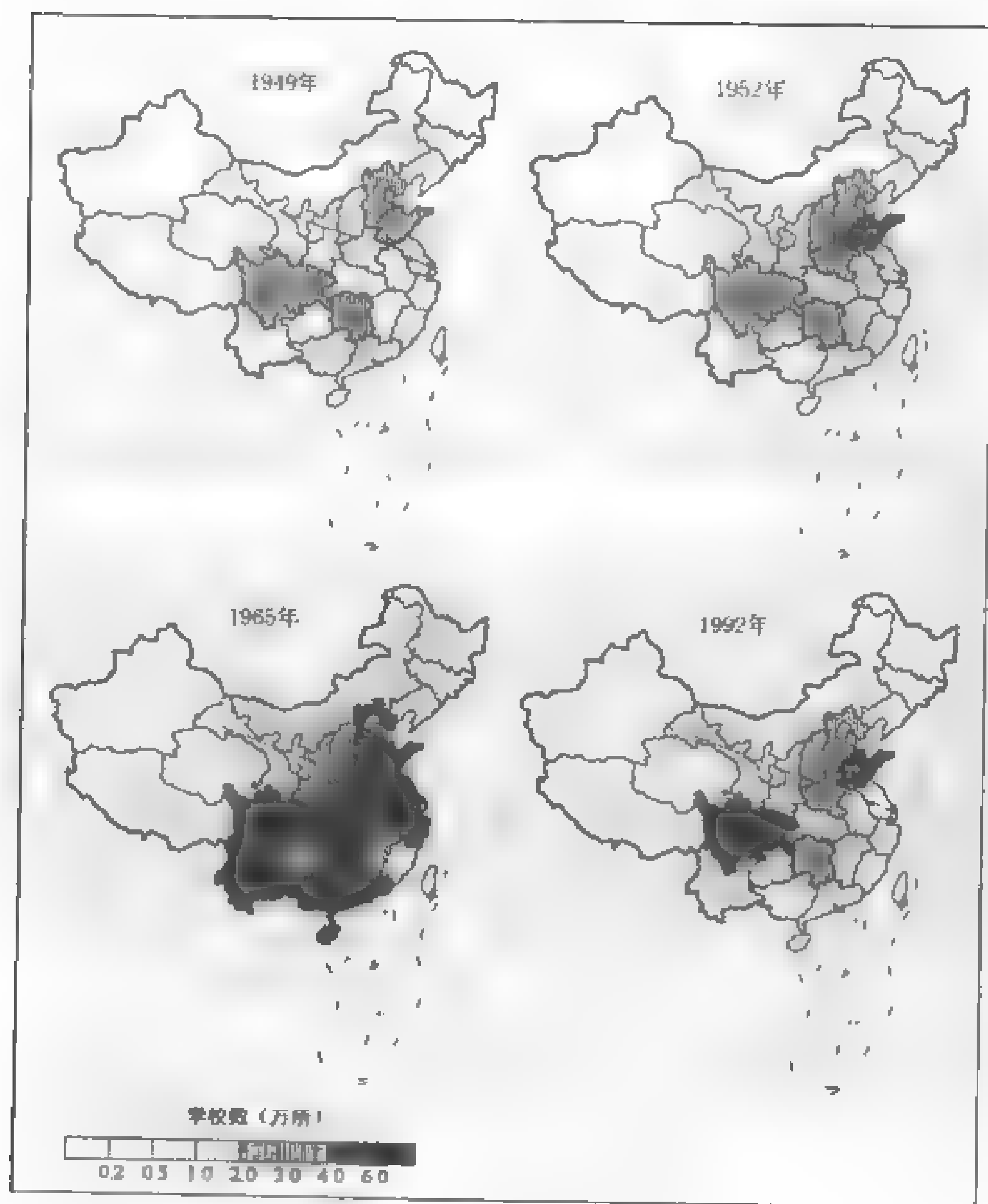


图6-37 指标体系的一致

应，且同类别地图所附文字的字数不应相差太多。

⑨ 色彩系统 对图集每一个组成部分的用色都应细致考虑，相同类型的组成部分（如图边、图组分割、附录等），应有协调一致的色彩表示。同一本图集的用色风格应当统一，避免使典雅与鲜艳，或者和谐与对比强烈的用色特点在同一本图集中共存。

⑩ 图面配置 主图与其他辅助要素（图名、图例、比例尺、附表、插图、文字等）在图面上的整体布局应表现出统一协调的效果，但这并不等于要求配置形式千篇一律、缺乏变化。两者最终的境界是良好的视觉平衡。

本章提要

地图图型按内容可分为普通地图与专题地图。

普通地图可根据内容及概括程度分为地形图与地理图。在普通地图上，各类自然地理及社会人文要素都有各自的表示内容及方法。

国家基本地形图是各项建设事业及科学研究的重要工具，也是编制地理图、专题地图的基础资料。由于比例尺的不同，具体用途及服务对象有很大区别。

普通地图与专题地图在传统的编制程序中，都包括地图设计、地图编绘以及出版准备三个阶段，由于这两类地图具有各自的特点，因此在编图各阶段所包含的具体内容有所差异。

专题地图按其内容可分为自然地理图、社会经济图、环境图、其他图等四类；按概括与组合方式可分为解析图、组合图与综合图。

各类制图资料是编制专题地图的基本依据，其中，遥感影像资料是建立动态数据库的可靠信息源，应给予充分的重视。

地理底图是制作专题地图的地理基础。专题信息的存贮、表达、传递、提取，都必须通过底图实现。地理底图编制的质量直接影响专题地图的质量。

图面设计是专题地图设计的中心环节，最能体现编图者的专业素质及创造能力。它包括许多具体内容：表示方法的选择、图例设计、图面内容的安排、色彩（网纹）设计等。

地图集是科学成果的综合总结，地图集的编制是一项复杂的系统工程。在地图集编制中必须注意处理好几个问题。

复习思考题

1.什么是地形图？什么是地理图？二者之间有什么区别？各有什么特点？

2.在地图上表示水系有什么重要意义？地图上的河流如何表示？

3.地形表示方法有哪几种？为什么说等高线法是其他表示方法的基础？

4.地图上的居民点可以反映哪些特征？图上是如何体现的？

5 如何理解地形图的图形模型功能？

6.解析图、组合图、综合图之间的联系是什么？

7.地图资料的类型及作用有哪些？

8.地理底图的作用及重要性是什么？如何编制最理想的地理底图？

9.专题地图表示方法与数据特点的关系是什么？

10.什么是图面设计？

11.图例的排列方式及其对视觉平衡的影响是什么？

12.如何通过色彩的变化表示专题现象的不同特性？

13.通过教材或其他地图集的具体图幅，说明专题地图的各种应用

14 为什么必须十分强调地图编制工作中的统一与协调原则？

15 某地图集的一些版面，出现了二幅等大主图及二幅大小不等的主图 分别设计几种图面配置方案

参考文献

1 A H 罗宾逊等.地图学原理(第五版).北京:测绘出版社,1989

2 A H Robinson Etal. Elements of Cartography 6th ed. John Wiley & Sons Inc,1995

3 陆权,喻沧主编.地图制图参考手册.北京:测绘出版社,1988

4 尹贡白等.地图概论.北京:测绘出版社,1991

5 张力果,赵淑梅,周占鳌.地图学.北京:高等教育出版社,1990

6 陆漱芬主编.地图学基础.北京:高等教育出版社,1986

7 祝国瑞等.地图设计.广州:广东省地图出版社,1993

8 欧竹斌等.专题地图编制.哈尔滨:哈尔滨地图出版社,1995

9 J S 基茨.地图设计与生产.北京:测绘出版社,1983

第 7 章

遥 感 制 图

遥感制图，是指利用航天或航空遥感图像资料制作或更新地图的技术　其具体成果包括遥感影像地图和遥感专题地图。遥感影像，因现势性强，可作为新编地形图的重要信息源

随着遥感技术的兴起，使传统的地图编制理论与方法发生了深刻的变革。因为遥感技术不仅可以通过多平台、多波段、多时相的信息源，快速、真实地提供丰富的制图信息，同时也使地图制图工艺发生了根本性的变化，打破了以往传统制图只能由较大比例尺的编图资料，缩编成较小比例尺地图的老方法，从而可以利用小比例尺的遥感图像资料编制较大比例尺的地图。遥感技术在地图学领域的应用，也大大缩短了地图的成图周期。快速获取的遥感信息及遥感图像的自动分类，在地理信息系统的支持下，与计算机辅助制图技术相衔接，使专题制图展现了广阔的发展前景。当实现遥感系统、空间定位系统与地理信息系统的有效结合时，将使地图编制由传统的手工方式完全跨入真正自动化成图的新阶段。

§1　遥 感 感 述

1.1 遥感的概念与分类

20 世纪 60 年代，在航空摄影测量、航空地质探矿和航空像片判读应用发展的基础上，在国际上正式提出了“Remote Sensing”这一科学术语，并很快就被普遍接受和认同。

Remote Sensing 一词被译为“遥感”，简单地说，它的含义就是遥远的感知，即通过非直接接触目标的方式，而能获取被探测目标的信息，并能通过识别与分类，了解该目标的质量、数量、空间分布及其动态变化的有关特征

遥感技术，是指从地面到高空，对地球和天体进行观测的各种综合技术总称，由遥感平台、传感仪器、信息接收、处理、应用等部分组成。遥感平台主要有飞机、人造卫星和载人飞船。传感仪器有可见光、红外、紫外摄像机，红外、多谱段扫描仪，微波辐射、散射计，侧视雷达，专题成像仪，成像光谱仪等，并且在不断

向多谱段、多极化、高分辨率和微型化方向发展。各种传感仪器将记录到的数字或图像信息，通过校正、变换、分解、组合等光学图像处理或数字图像处理后，以胶片、图像或数字磁带等方式提供给用户。用户再进行分析、判读，或在地理信息系统和专家系统支持下，制成专题地图或统计图表，为资源与环境的调查和动态监测，以及军事侦察等提供信息服务。

由于遥感技术的迅速发展，遥感的分类也多种多样。例如：按遥感仪器搭载的工作平台不同，可分为航天遥感、航空遥感和近地面遥感；按传感器的工作波段不同，可分为可见光与近红外遥感、热红外遥感、微波遥感等；按具体的应用目的不同，可分为环境遥感、地质遥感、农业遥感、林业遥感、城市遥感等。另外还有其他的分类方式，如根据传感器的工作方式和资料的记录方式不同进行分类等。

1.2 遥感的特点及其应用领域

遥感技术仅经过几十年时间，就迅速发展成为一种应用范围极广的综合性的探测技术，其根本原因在于它所提供的信息大大扩大了人们的视野范围和感知能力。遥感信息的主要特点可以概括为以下几个方面：

(1) 宏观性和综合性 从航天或航空飞行器所获得的遥感图像，可真实、客观地观察到更加广阔的地域空间和地物，了解其分布特征、相互间联系和规律。

(2) 多波段性 遥感仪器以可见光到微波的各个不同波段去探测和记录信息，远远超出了人们肉眼所能感受的波谱范围。

(3) 多时相性 遥感卫星以比较短的时间间隔，对地球表面进行重复探测，因此可以得到同一地区的多时相信息。

由于遥感具有上述特点，因此在国民经济建设的诸多领域，如土地资源、土壤含水量、土壤盐化、土地沙化、农作物估产的调查中；在普通地质、工程地质、灾害地质研究和地质矿产调查中；在旱情、洪水、滑坡、泥石流、农林病虫害、森林火灾等灾害监测和预测方面，及时提供可靠的科学依据，并取得了许多重要成果。尤其值得提出的是，遥感在监测预报1998年长江和嫩江、松花江的特大洪水中，发挥了巨大的作用。此外，在城市的生态环境保护、绿地覆盖调查、区域分析与规划、水体的污染监测、大气组成成分的变化监测（二氧化碳、臭氧）、气象现象的分析与预报等领域遥感技术也得到了广泛的应用。

§2 遥感信息的制图应用

遥感信息在各个应用领域中，图形的生成和输出是非常重要的方面。许多专题内容的调查、监测和预测的结果都要表现在地图上。我国在研制自己的资

源卫星时，也充分考虑了这一方面，陈述彭等在20世纪90年代初提交的报告①中曾论述了整体卫星技术系统与制图工作的关系和联系(图7-1)。

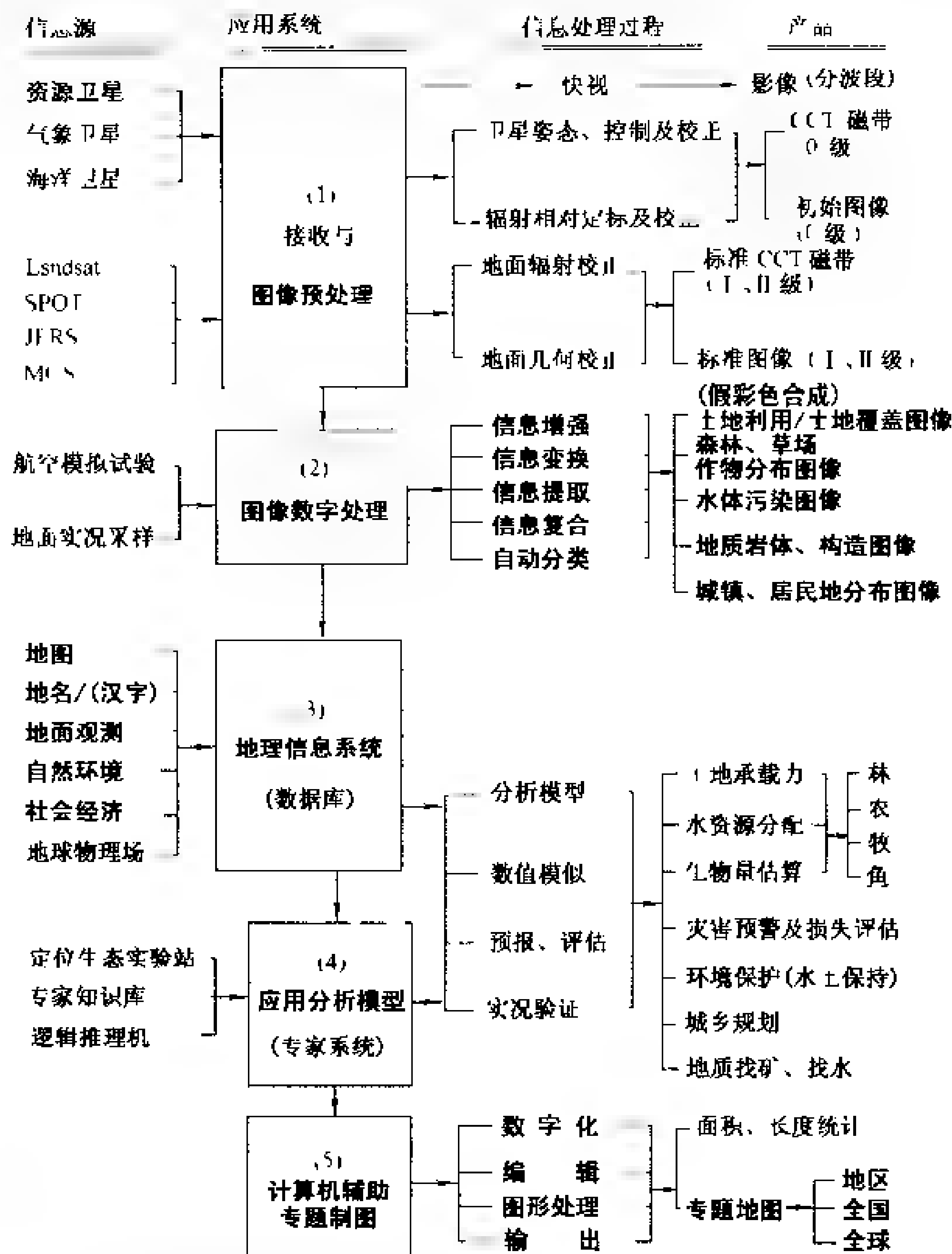


图7-1 资源卫星应用系统信息流程(黑体字显示与制图有密切联系的过程)

2.1 遥感制图的信息源

编制地图，必须要有空间数据，也就是地图的信息源。而遥感信息的判读与

① 陈述彭等. 资源卫星应用系统及其智能化. 中国遥感进展. 北京：万国学术出版社，1992

制图的目的，就是要从遥感图像上将经过概括化了的地面信息提取出来，并将其典型特征用地图符号表示在二维平面上，以供人们去认识和识别图上所显示的离散化、特征化了的信息。

1 主要信息源

截至目前，世界各国已经发射的遥感卫星有数十种之多。例如美国的陆地卫星(Landsat)、气象卫星(NOAA)、海洋卫星(Seasat)，法国的SPOT卫星，日本的MOS卫星、JERS卫星、ADEOS卫星，欧空局的ERS卫星和印度的IRS卫星等。

我国目前经常使用的信息源主要有美国的Landsat－TM、NOAA－AVHRR和法国的SPOT－HRV(表7－1)。

表7－1 主要卫星数据

卫星名称	轨道参数	观测仪器			
		遥感器名称	波段/频率	空间分辨率	覆盖宽度
Landsat－4(1982) Landsat－5(1984)	太阳同步轨道 高度：约705km 倾角：约98° 回归日期 16日	TM (Thematic Mapper)	0.45～0.52μm 0.52～0.60μm 0.63～0.69μm 0.75～0.90μm 1.55～1.75μm 2.08～2.35μm	30m	185km
			10.40～12.5μm	120m	
NOAA－Next系列 NOAA－K(1994) NOAA－L(1996) NOAA－M(1997)	太阳同步轨道 高度：约833km 或870km 倾角：约99°	AVHRR/3 (AVHRR Mode 3)	0.58～0.68μm	0.5km	2700km
			0.57～0.87μm 0.57～0.87μm 3.55～3.93μm 10.30～11.30μm 11.58～12.40μm	1.0km	
SPOT－4(1996)	太阳同步轨道 高度：约832km 倾角：约99° 回归日期 26日	HRV (High Resolution Visible and Middle Infrared)	0.50～0.59μm 0.61～0.68μm 0.79～0.89μm 1.55～1.75μm	20m	60km
			0.61～0.68μm	10m	

2 空间分辨率及制图比例尺的选择

空间分辨率即地面分辨率，指遥感仪器所能分辨的最小目标的实地尺寸，也就是遥感图像上一个像元所对应地面范围的大小。例如Landsat－TM的一个像元，对应的地面范围是30m×30m。

由于遥感制图是利用遥感图像来提取专题制图信息的，因此在选择遥感图像空间分辨率时要考虑以下两点因素：一是判读目标的最小尺寸，二是地图的成图比例尺。所谓判读目标就是专题制图的制图对象，对空间不同规模的制图对

象的判读与识别，在遥感图像的空间分辨率方面都有相应的要求，如表7－2所示。

表7－2 不同规模的环境特征对地面分辨率的要求

Ⅰ 巨型环境特征		森林清查	400m	森林火灾预报	50m
地壳	10km	山区植被	200m	森林病害探测	50m
成矿带	2km	山区土地类型	200m	港湾悬浮质运动	50m
大陆架	2km	海岸带变化	100m	污染监测	50m
洋流	2km	渔业资源管理与保护	100m	城区地质研究	50m
自然地带	2km	Ⅲ 中型环境特征		交通道路规划	50m
生长季节	2km	作物估产	50m	Ⅳ 小型环境特征	
Ⅱ 大型环境特征		作物长势	25m	污染源识别	10m
区域地理	400m	天气状况	20m	海洋化学	10m
矿产资源	100m	水土保持	50m	水污染控制	10～20m
海洋地质	100m	植物群落	50m	港湾动态	10m
石油普查	1km	土种识别	20m	水库建设	10～15m
地热资源	1km	洪水灾害	50m	航行设计	50m
环境质量评价	100m	径流模式	50m	港口工程	10m
土壤识别	75m	水库水面监测	50m	渔群分布与迁移	10m
土壤水分	140m	城市、工业用水	20m	城市工业发展规划	10m
土壤保护	175m	地热开发	50m	城市居住密度分析	10m
灌溉计划	100m	地球化学性质、过程	50m	城市交通密度分析	5m

遥感图像的空间分辨率与地图比例尺有密切关系：空间分辨率愈高（像元对应的地面尺寸愈小）、图像可放大的倍数愈大，地图的成图比例尺也愈大。图像需要放大的倍数，应以能否继续提供更多的有用信息为标志。根据这一指标所确定的最大放大倍数，称为这种图像的放大极限。

3．波谱分辨率与波段选择

波谱分辨率，是由传感器所使用的波段数目，也就是选择的通道数，以及波段的波长和宽度所决定。

各种遥感器波谱分辨率在设计时，都是有针对性的，多波段的传感器提供了空间环境不同的信息。以TM为例，它的波段特性如表7－3所示。

表7－3 TM的波段特性

波段号	波段		选择原理和主要应用
	宽度	名称	
TM_1	0.45～0.52	蓝	对叶绿素和叶色素浓度敏感，用于区分土壤与植被、落叶林与针叶林，近海水域制图
TM_2	0.52～0.60	绿	对无病害植物叶绿素反射敏感
TM_3	0.63～0.69	红	对叶绿素吸收敏感，用于区分植物种类

续表

波段号	波段		选择原理和主要应用
	宽度	名称	
TM_4	0.76~0.90	近红外	对无病害植物近红外反射敏感，用于生物量测定及水域判别
TM_5	1.55~1.75	中红外	对植物含水量和云的不同反射敏感，可判断含水量和雪、云
TM	2.08~2.35	中红外	对植物含水量和矿物氢氧根敏感，可用于地质制图，探测岩石的水热蚀变
TM_6	10.4~12.5	远红外	作温度图，植物热强度测量

4. 时间分辨率与时相的选择

时间分辨率，是指对同一地区遥感影像重复覆盖的频率。时间分辨率的变化范围从静止气象卫星的每次半小时到陆地卫星的每次几天到几周，而航空遥感飞机通常几个月一次，甚至几年一次摄影或扫描。

由于遥感图像信息的时间分辨率差异很大，因此用遥感制图的方式反映某种制图对象的动态变化时，不仅要搞清这种制图对象本身变化的时间间隔或变化周期，同时还要了解有没有与之相对应的遥感信息源。若要表现以日或小时为单位计的短期或超短期时间分辨率的现象——如森林病虫害的受灾范围的动态变化、森林火灾蔓延范围及速度的动态变化、洪水淹没范围的动态变化，必须选择与之相适应的具有短期或超短期时间分辨率的遥感信息源，从目前看，只有气象卫星 NOAA 所获得的图像信息才能满足这种要求。若表现以月或旬为单位计的中周期时间分辨率的现象——如植物的季相节律、农作物长势，从目前看，以选择 Landsat-TM 或 SPOT 遥感信息源为宜。至于表现以年为单位计的长周期时间分辨率的现象——湖泊的消长、河流的迁徙、海岸的进退、城市的扩展、资源的变化，仅仅依靠遥感图像信息是不够的，还必须辅以其他非遥感信息。

同时还应该看到，时间分辨率和时相的选择，二者之间存在着非常密切的关系。只有具有较多种类时间分辨率的遥感信息，才能比较容易地挑选出满足要求的理想时相，不会因为诸如气象等因素的影响而得不到所要求的时相信息。

2.2　遥感图像的处理方法

根据遥感制图的任务要求，确定了遥感信息源之后，还必须对所获得的原始遥感数据进行加工处理，才能进一步利用。

1. 遥感图像的纠正处理

人造卫星在运行过程中，由于飞行姿态和飞行轨道、飞行高度的变化以及传感器本身误差的影响等，常常会引起卫星遥感图像的几何畸变。因此，把遥感数据提供给编制专题图之前，必须经过纠正处理（预处理），包括粗处理和精处理。粗处理是为消除传感器本身及外部因素的影响所引起的各种系统误差而进行的处理，精处理是为进一步提高卫星遥感图像的几何精度而进行的几何校正和辐射校正，以满足专题制图的要求。

2. 遥感图像的增强处理

在进行遥感图像判读之前，要进行图像增强处理，包括光学图像增强处理和数字图像增强处理。

光学图像增强处理主要是为了加大不同地物影像的密度差。常用的方法有假彩色合成、等密度分割和图像相关掩膜，其中以假彩色合成最为常用。

数字图像增强处理的主要特点是借助计算机来加大图像的密度差。常用的方法有反差增强、边缘增强、空间滤波等。

数字图像增强处理的功能齐全、反应速度快、操作灵活，是目前广泛使用的一种处理方法。

2.3 遥感图像的专题信息提取

经过增强处理后的遥感图像，即可进行专题信息提取，提取方法有目视判读和计算机自动识别。

1. 目视判读

是用肉眼或借助简单判读仪器，运用各种判读标志，观察遥感图像的各种影像特征和差异，经过综合分析，最终提取出判读结论。

(1) 常用方法　有直接判定法、对比分析法和逻辑推理法。

直接判定法，是通过色调、形态、组合特征等直接判读标志，判定和识别地物。

对比分析法，是采用不同波段、不同时相的遥感图像，各种地物的波谱测试数据，及其他有关的地面调查材料，进行对比分析，将原来不易区分的地物区别开来。

逻辑推理法，是专业判读人员利用专业知识和实践经验，应用地学规律进行相关分析，将潜在专题信息提取出来。

(2) 工作程序　包括判读前的准备工作，建立判读标志，室内判读及野外验证。

判读前的准备工作，包括搜集资料，选择和处理遥感图像，熟悉判读地区的基本情况，制订判读工作计划。

建立判读标志,首先在室内对判读区的遥感图像进行总体浏览分析,确定野外对照判读的典型路线和典型地段,然后通过室内预判和野外对照判读,确定各种地物目标在遥感图像上的判读标志。

室内判读,在完成判读标志建立的工作之后,即可开展整个制图区域遥感图像的判读工作。首先通过宏观分析,对制图区形成一个总体概念——景观结构的总体框架,然后按判读标志,进行专题内容的识别与分析。

野外验证,在完成判读工作之后,要通过野外抽样检查、验证,确定判对率,经过核实和修改后,完成专题影像图

2. 计算机自动识别与分类

是利用遥感数字图像信息,由计算机进行自动识别与分类,从而提取专题信息的方法。

计算机自动识别,又称模式识别,是将经过精处理的遥感图像数据(如CCT磁带),根据计算机研究获得的图像特征进行的处理。具体处理方法有:

统计概率法,是根据物体的光谱特征进行自动识别;

语言结构法,是根据物体的图形进行识别;

模糊数学法,是根据物体最明显的本质特征(光谱的或图像的本质特征)进行识别

计算机自动分类,可分为监督分类和非监督分类两种

监督分类,是根据已知试验样本提出的特征参数建立判读函数,对各待分类点进行分类的方法。

非监督分类,是事先并不知道待分类点的特征,而是仅根据各待分点特征参数的统计特征,建立决策规则并进行分类的一种方法。

计算机自动识别与分类结束之后,应该采取抽样方法进行野外核实与验证,经修改后,形成分类的图形文件。

§3 卫星影像图和卫星影像地图

3.1 概 念

利用卫星影像编图,根据它的技术条件和线划的地理要素,可分为:卫星影像镶嵌图、卫星影像图和卫星影像地图三种

不另外进行影像的几何纠正,将多幅影像依像幅边框显示的经纬度位置,镶嵌拼贴而成的影像图,称为卫星影像镶嵌图,其像点误差相对于地面控制点人

于了。在镶嵌图上，只注记出少量地理要素名称，如主要河流、主要山峰、县市以上居民点、铁路和主干公路的名称。影像镶嵌图的作用是提供空间位置的检索。

进行了影像平面位置的几何纠正（纠正误差相对于地面控制点可达到小于1个像元）和影像增强，图上绘制出较全面的地理要素，称为卫星影像图。此类影像图之间进行了数字镶嵌，且包括的地理范围相当大——一个国家或全球。

在卫星影像上，能够依据数字地面模型（DEM），进行共线方程纠正，有详细的地理要素的影像图，称为卫星影像地图。卫星影像不能直接构成地形图，但中等比例尺的卫星影像常与地形图系列配合，影像成为地形图的一种要素，它增强了地形要素的视觉效应。

3.2 卫星影像图的产生和编制

卫星影像镶嵌图一般由光学图像处理产生，而卫星影像图或卫星影像地图可以使用微机或工作站，配合图像处理系统生成。

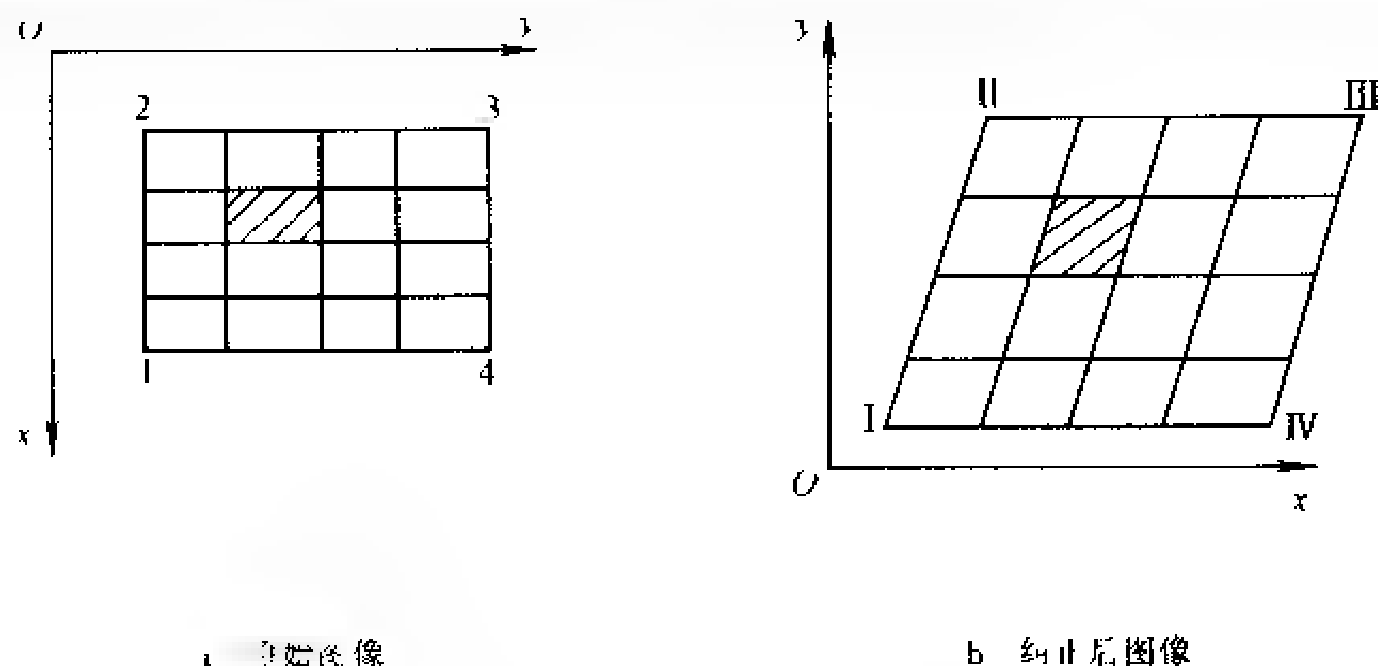
卫星影像图的产生和编制过程如图7-2，其步骤包括：



图7-2 影像图的生成

1．卫星数据的几何纠正

不考虑地形起伏的影响而进行卫星图像几何纠正，是以已知控制点的平面坐标与对应像元位置为依据，采用多项式逼近的方法，建立简化的坐标变换方程的过程。其正解形式是将未纠正的像点转换为已纠正的像点（图7-3），表达式为：



a　原始图像　　　　　　　　b　纠正后图像

图7-3　卫星数据的几何纠正

$$\left.\begin{aligned} x_i &= a_0 + a_1 x'_i + a_2 y'_i + a_3 x'_i y'_i + a_4 x'^2_i + a_5 y'^2_i + \cdots \\ y_i &= b_0 + b_1 x'_i + b_2 y'_i + b_3 x'_i y'_i + b_4 x'^2_i + b_5 y'^2_i + \cdots \end{aligned}\right\} \qquad (7-1)$$

式中，x_i, y_i——像点 i 纠正后的影像坐标；

x', y'——像点 i 纠正前的影像坐标；

$a_0, a_1, a_2, \cdots; b_0, b_1, b_2, \cdots$——多项式系数。

按解方程组的要求，二次多项式至少要选取6个控制点，列出12个方程，分别求出12个系数。三次多项式至少选取10个控制点，以此类推。

投影图上选定的控制点和影像上的同名点位置选择，要在全图幅上均匀分布，且容易辨认。

2　像元亮度值的重采样

几何纠正及图像投影变换后，输出像元网格结构发生了变化，即像元的大小、形状、相互的几何关系产生变化，所以必须对输出像元包括亮度值重新分配，即按规则格网重新采样，同时改善和提高影像质量。

对编制卫星影像图而言，若要求重采样输出的TM、SPOT图像放大到比例尺1:5万时仍清晰可读，就要采用高次的内插方法处理像元亮度值，如双线性内插或三次卷积内插。

几何纠正和重采样是一个统一进行的过程。

3．影像镶嵌

由于相邻卫星图像的辐射特性和时相不同，不同幅影像的亮度值会不一致。当相邻影像镶嵌后，色调会有较大出入，因此要进行像元的线性拉伸或亮度直方图的匹配，以消除图像拼接时不协调的色调差异(图7-4，图7-5)

4　彩色合成

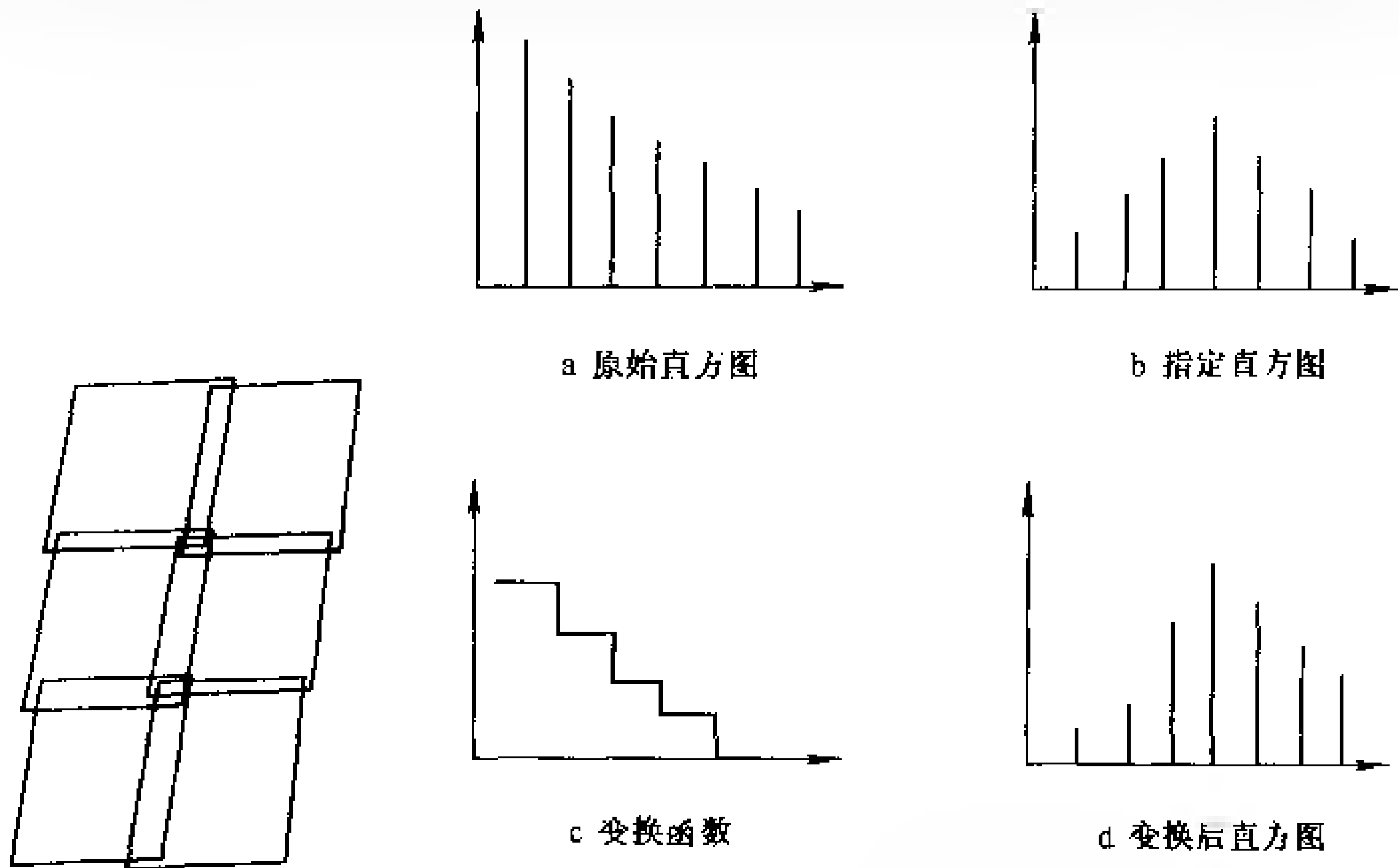


图7-4 图像的镶嵌

图7-5 直方图匹配

彩色合成时，选择三个波段的图像，一个赋予红色，一个赋予绿色，一个赋予蓝色，所得结果为假彩色。它可使影像在视觉上获得丰富的信息。TM 图像中，TM5 的亮度值级数最多，信息量最大；TM2 和 TM3 之间，TM5 和 TM7 之间的相关性最强；TM2 的信息量最小；而 TM6 为热红外，空间分辨率最差(120 m)。因为卫星影像图是一种通用的图像，若选用 TM5——红色、TM4——绿色、TM3——蓝色合成，不仅信息量丰富，且成图后，植被染成绿色，给人以一种真实感，是一个比较好的合成方案。

5. 多种信息复合

不同传感器接收的影像数据，由于其光谱分辨率和空间分辨率不同，如果将它们的长处复合起来，在位置上相互配准，取长补短，就可以提高光谱或地面分辨率，产生高质量的图像。例如，TM 图像有 7 个波段，其中红外波段有特殊的光谱接收性能，但空间分辨率为 30 m 或 120 m；SPOT 图像的全色波段空间分辨率为10 m。如果将 SPOT 全色波段、TM 波段 5 和 4 分别赋予红、绿、蓝色合成①，则可使原来只用一种传感器采集的难以区分的地物更加清晰可辨。例如，可使果园、麦田、绿肥作物等在复合图像上都呈现不同色相而易判读，也可使村镇居民点、渠道和道路系统更加清楚。

复合影像的生成，首先要对多光谱影像进行内插，使它和全色影像具有相同

① 国家遥感中心等．第二代资源卫星的应用．北京：测绘出版社，1989

的像元密度。然后进行多项式的几何纠正和对全色影像重采样。第三步则是进行多光谱影像和全色波段的辐射校正和影像灰阶配准。

6. 矢量数据的符号化

在影像上标绘地理要素与将地形图上的地理要素叠合在影像上是两回事。地形图上的地理要素是依测图细则确认的，例如河岸线及海岸线是多年平均水位的界线；地形图上的地理要素只是编图时的现状，其现势性与卫星图像难以比拟。因此，在地形图上，居民点的平面图形，河流和湖泊的宽度和位置，道路系统等，大都与瞬时影像位置不吻合。所以卫星影像图的地图符号，是在屏幕上参照（判读）地形图的同名点进行的影像符号化，即在栅格图像上用鼠标输入的矢量图形。目前多数制图软件都具备这种功能。

由于编制卫星影像图的目的是为着了解区域的宏观面貌，及用于现状调查和规划设计，如果用很多矢量符号填充在影像图上，遮盖了大量瞬时信息，并不是制作影像图所希望的。所以影像图上所需要符号化的，主要是地名注记和境界线。服务于决策的影像图，可增加现状的水系和道路网，面状符号不宜使用。

7. 图像的输出产品

主要形式是喷墨彩图、像纸图像和印刷品。喷墨图复制容易，但彩墨也容易受紫外线（日光）照射而氧化褪色。若使用塑料压膜，保持色彩的时间可增加几倍。像纸产品有两种，一种是经激光扫描输出在像纸上，一种是输出负片经放大生成，这些都只能小量生产，大批量的产品则由印刷产生。

§4 从影像生成专题地图

4.1 概 述

从遥感影像产生专题地图，分为目视解译的专题制图和计算机辅助专题制图两种方案。

1. 目视解译的专题制图

(1) 影像预处理 包括遥感数据的图像校正、图像增强，有时还需要实验室提供监督或非监督分类的图像。

(2) 目视解译 经过建立影像判读标志，野外判读（路线调查或样区调查），室内解译，得到绘有图斑的专题解译原图。

(3) 地图概括 按比例尺及分类的要求，进行专题解译原图（图斑）的概括。专题地图需要正规的地理底图，所以地图概括的同时也进行图斑向地理底图的

转绘。

(4) 地图整饰　在转绘完专题图斑的地理底图上进行专题地图的整饰工作。

2. 数字图像处理的专题制图

(1) 影像预处理　同目视解译类似，影像经过图像校正、图像增强，得到供计算机分类用的遥感影像数据。

(2) 按专题要求进行影像分类。

(3) 专题类别的地图概括　包括在预处理中消除影像的孤立点(噪声点)，依成图比例尺对图斑尺寸的限制进行栅格影像的概括。

(4) 图斑的栅格/矢量变换

(5) 与地理底图叠加，生成专题地图。

4.2 图像分类

提高计算机遥感数据的专题分类精度，是遥感制图研究的主要问题之一。20 世纪 80 年代应用广泛的统计模式识别方法中，属于图像增强的有主成分变换($K-L$ 变换)、缨帽变换($K-T$ 变换)，属于图像分类的有最大似然判别、最小距离判别等方法。近年对基于知识的图像分类方法有较多的研究。

1. 统计模式识别

(1) 主成分变换　是对图像实行的线性变换。经多光谱空间特定方向的旋转，变换时每一个矢量乘一个特殊的矩阵，使多光谱空间成为新的主分量空间。在图像处理中主要用于：(1)信息压缩，减少波谱段数，便于存储和判读；(2)图像特征提取，突出地物类别。

(2) 缨帽变换　是对图像的又一种线性变换。将原始数据按波段分布的多维空间转换成与地物有关的三维空间。例如针对土质亮度、土壤湿度和植被绿度的处理，既实现了信息压缩，又有助于分析农业生态特征。

经上述变换，为分类提供了高判别精度和压缩了近 1/3 的图像数据。

(3) 最大似然判别　属监督分类。依遥感数据的统计特征，假定各类别的函数呈正态分布，按正态分布规律用最大似然判别规则处理，得到较高正确率的分类结果。

(4) 最小距离判别　在有先验知识的前提下进行，用特征空间中训练样本的均值位置作聚类中心，比较被分类的像点，距离哪个类别中心最近，就判为哪类。

这些模式识别的方法都是对影像光谱特征进行统计的结果。

2. 以地学知识及专家系统为基础的识别

遥感影像是某一区域电磁波反射和辐射的信息记录，自然环境的影响造成了"同物异谱"或"同谱异物"，单纯对光谱特征的统计分析很难提高专题分类的精度。20世纪90年代以来，利用多种地理辅助数据和地理信息系统参与专题分类，已成为必然趋势。如以地学知识（专家系统）为基础，从影像中提取盐碱土信息时，依据盐碱土的形成条件和微地貌特征，以及各微地貌区与盐碱土化程度的相关关系，确定识别盐碱土的区域参数，提高了分类的精度[①]；对一个波段进行色度空间变换，并将专家系统的方法应用于草场资源的遥感调查，其分类精度优于最大似然判别方法[②]；也可以用最大似然法的分类结果、知识库中的规则和有关地理数据，采用不确定推理理论，进行遥感影像分类，使专题分类的精度有显著的提高[③④]（图7-6）。

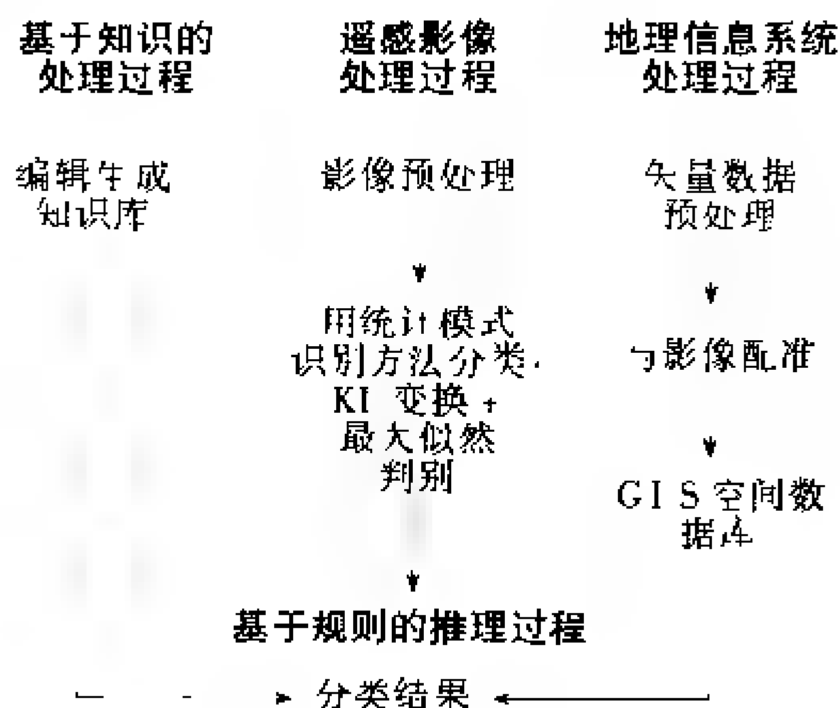


图7-6 基于知识的图像分类过程

例如，在进行土地利用的影像分类时，基于知识的处理过程如下：

（1）知识获取 以遥感原理和地学知识为基础，对于区域制图，还需针对区域特征，确定推理法则。

（2）整理数据流 从地形图上利用等高线生成数字地面模型、坡度等数据，从地籍图、土地利用现状图、土壤图采集背景数据，构成参与决策的地理辅助数据。

---

① 傅肃性 地学分析在遥感专题制图中的应用 国土资源遥感，1994，第3期

② 程涛等 草场资源遥感调查专家系统模型 武汉测绘科技大学学报，1992，第4期

③ C.ffkonTes et al An Experimental System for the Integration of GIS Data in knowledge-based Analysis for Remote Sensing of Agriculture International Journal of GIS，1993，7(3)

④ 李洪磊，毛赞猷 GIS辅助下的基于知识的遥感影像分类方法研究 测绘学报 1997年，第4期

(3) 建立知识库 知识库的构造需结合区域研究特点，不断修改与调试，使影像分类的结果与目视解译和野外调绘的结论趋于一致。

知识库的表达式为：

条件(IF)，结论(THEN)，结论可信度因子(CF)

可信度因子的值域为[0,1]，该值为0时，排除像元结论的可能性，为1时，则十足可信。

例如，在一个三角洲地区利用遥感图像进行土地利用分类时，参照的地理数据应包括：高程、坡度、已有的土地利用图等。其知识库规则是：

如果高程 < 10 m	结论为林地	可信度 0.1
(IF DEM < 10)	(THEN FOREST)	CF0.1)
如果高程 ≥ 10 m 且 < 40 m	结论为林地	可信度 0.8
如果高程 ≥ 100 m	结论为作物地	可信度 0.1
如果坡度 < 10°	结论为果园	可信度 0.6
如果土地利用图上为耕地	结论为开发地	可信度 0.5

(4) 进行知识的影像分类 其步骤是用统计模式识别方法产生的初始数据，在知识库内，经过辅助数据和知识库规则，进行不确定推理，最后确定逐点像元所属类别。

4.3 图斑的地图概括

1. 图斑概括的实质

以图 7-7 为例，当影像的分类结果为林地、高粱地和玉米地后，比例尺的变更往往需要对高粱地进行合并。但计算机的自动概括可能因高粱地与林地有 4 个邻边而将其合并到林地中。

在图 7-8 中又出现另一种情况，在计算机按顺序自上而下判别图斑的属性时，设灌丛草地和农田的图斑尺寸均小于阈值。这时概括的可能结果是将灌丛草地合并到农田中，从而使图斑满足阈限而被保留为农田，这显然是不合理



图 7-7 合并的选择

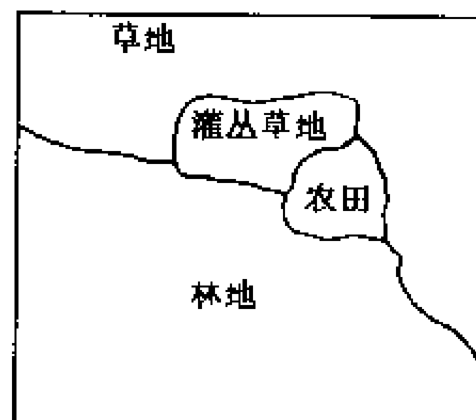


图 7-8 图斑的顺序合并

的。因此,图斑的概括需要合理地解决图斑的合并问题。

2. 图斑概括需考虑的问题

(1) 遥感数据的特性,如传感器的空间分辨率常决定它能否满足专题地图比例尺的要求。

(2) 根据专题地图的用途、区域特点和比例尺,确定专题图斑选取的尺寸(阈值)。

(3) 根据专题知识的需要,确定舍去的图斑应如何合并,如何进行概括的表示。

3 图斑概括的过程如图7-9所示。

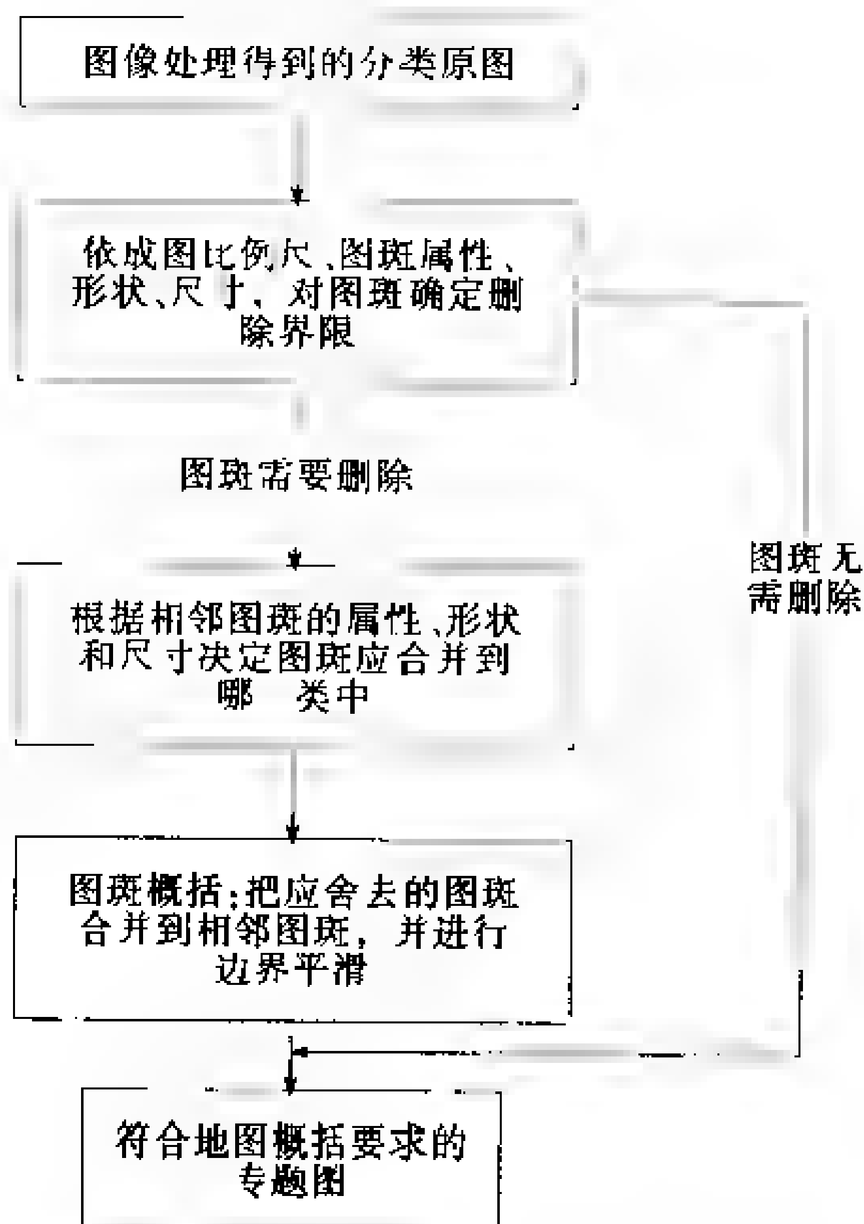


图7-9 图斑概括过程

4. 概括的框架结构和实例

组织图斑进行框括的文本编辑器是基于知识的框架结构。

通过计算机的运算,已进行图斑概括的专题分类图便可以产生(彩图7-1,7-2,7-3)。

4.4 图斑边界的矢量化

遥感影像经过概括后,虽然具备了专题图的内容和特征,但仍是以栅格形式

记录的。因此从栅格数据转换为矢量数据是遥感图像专题制图的重要步骤.

栅格边界转为矢量化可分四个过程:

(1) 勾边　在　个图斑内部,像元的亮度值是相等的　两个不同的图斑之间,在边界上的亮度值是不等的。这就为提取边界创造了条件.

我们可以用2×2算子来检测这种变化:

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

将待定点的像元值乘2,右边点和下方点的像元值乘-1,三者相加结果为0,则待定点不是边界;不为0,则待定点是边界　直到整幅图检验完毕,就能勾划出图像上的所有边界像元

(2) 细化　经过勾边处理的图像,在一些拐点,边界线的宽度可能为两个像元,细化的目的是用模板法对其进行整理,将不需要保留的点,令其等于背景值,由此形成单　像元的栅格边线。

(3) 找节点　经细化后,边界像元成为纵横交错的网络,所以要寻找出节点,这是为下一步跟踪边界并转为矢量做准备。若边界点 P 周围的 8 个邻点中有 3 个以上为边界点,则 P 点便是节点。因此这些节点的坐标可被记录下来。

(4) 转矢量　是指搜索边界,并将栅格格式的边界转为以矢量格式的过程。

彩图7　4是经过分类、概括的图像,被赋予边界的形式。彩图7-5则是经过上述四个步骤,并将背景值合并后的矢量图形。

§5 遥感系列制图

5.1 遥感系列地图与地理底图

系列地图,简单说就是在内容上和时间上相关联的一组地图。我们所讨论的系列地图,是指根据共同的制图目的,利用同一的制图信息源,按照统一的设计原则,成套编制的遥感专题地图

当完成遥感图像的专题信息提取,形成专题类型图之后,还必须将类型界线转绘到具有严格数学基础的地理底图(又称线划基础底图)上。

1. 地理底图编制要点

(1) 地图投影的选择　中小比例尺的遥感专题制图,所使用的遥感图像经过精处理之后,已协调到指定的地图投影上,所以地理底图的投影和影像投影一致、大中比例尺遥感专题制图的投影统一为高斯-克吕格投影。

（2）编图资料选择与地理基础更新　大中比例尺遥感制图的地理底图，均以相应比例尺的地形图作为底图编制的基本资料。

为使地形图上的地理要素能与专题影像图相对应（主要是水系，其次是居民点和交通网），必须以遥感图像作依据，修改或补充地形图上已经变化了的内容要素——如变化了的河流、湖泊的水涯线，水文网的形状，以及变化了的居民点、交通网的形状和数量等。最终应该使底图上的要素与遥感图像上相对应的内容一致，以便转绘专题内容。

2．地理底图的编制程序

采用常规的方法编制地理底图时，首先选择制图范围内相应比例尺的地形图，进行展点、镶嵌、照像，制成底图薄膜片，然后将膜片蒙在影像图上，用以更新地形图的地理要素。经过地图概括，最后制成供转绘专题影像图的地理底图，其比例尺与专题影像图相同。

5.2　遥感系列制图的基本要求

1．统一信息源

遥感系列制图，要求采用同一地区、相关时相、同一波段组合的遥感图像，作为系列制图的信息源。只有这样，才能为系列制图建立相互协调的分类指标、分类系统和分类等级，提供共同的资料基础。这样做也必然为最后的统一协调工作，提供了一个相互都能沟通的依据。

由于专题内容的不同，判读和识别的对象不同，对遥感图像的波段和时相选择上各有不同。这完全可以根据各自的专题内容特点及判读识别的具体要求不同，自由选择波段（或波段组合）和时相。但必须要将判读或识别的结果，全部落实到各专题图共同使用的影像底图上。最终对影像底图上形成的专题影像图，进行统一协调工作。

2．统一对制图区域地理特征的认识

在综合制图理论的指导下，各专题制图人员对制图区域的自然地理特征，如地带性规律、区域分异规律等，应该有统一的认识。这对提高专题制图水平，保证系列地图的统一协调是非常必要的。

3．制定统一的设计原则

在系列制图的设计中，应该明确共同的影像基础（或称影像底图）、地理基础（地理底图）；制订统一协调的分类、分级原则和分类分级系统，以及相对应的图式图例系统；对各专题图幅规定统一的整饰原则。

4．按一定的规则顺序成图

系列制图应该遵循先无机后有机、先自然后人文的成图序列。

通常在系列制图开始时,应该先编制地理单元图或景观结构图,以便为后续的各专题图类型界线的确定起控制作用。有时亦可先编制地貌图,以地貌的类型界线作为控制其他专题类型界线的骨架。有的资源系列图,还可以用土地利用图作为控制其他资源图类型界线(森林、草地、耕地等)的基础。

5.3 遥感系列制图的统一协调

1. 统一协调的目的

目的在于保证系列地图的内容具有明确的实用性和针对性;确保系列地图的整体性与系统性;保证系列地图之间具有明显的可比性,如制图单位、分类系统、图式图例、轮廓界线、图面配置和整饰规格等。

2. 统一协调的基础

应根据自然界本身的固有规律及景观结构的自然单元进行统一协调,绝不能主观臆造。

3. 统一协调的方法与内容

(1) 以影像图和地理底图作为统一协调的参考图,用以统一协调各专题图的类型轮廓界线;

(2) 要按自然顺序进行编图;

(3) 地带性、非地带性规律的界线的统一协调;

(4) 制图单元的统一;

(5) 分类系统、分级等级的统一协调;

(6) 图例符号的统一协调;

(7) 图斑轮廓的统一协调;

(8) 图面配置和整体规格的统一协调。

本章提要

遥感制图是遥感技术在测绘领域应用的具体体现。遥感为地图编制提供了极其丰富的信息源。利用遥感信息进行专题制图,首先必须根据制图的目的要求选择合适的信息源,然后通过图像处理,进行专题信息提取,并生成专题影像图。与此同时,还应生成控制专题内容的地理底图。最后将专题影像图上的分类结果复合到地理底图上,生成专题地图。由遥感数据产生的专题系列图已成为区域综合研究必不可少的工具和成果表现形式。

复习思考题

1. 什么是遥感制图？它与传统的专题制图有什么区别？
2. 遥感制图如何选择信息源？
3. 遥感制图信息的处理方法有哪几种？
4. 遥感制图专题信息提取方法有哪些？
5. 遥感专题图如何生成？
6 用计算机辅助成图方法拟订一个编制地理底图的工艺方案。
7. 试述目视判读成图与计算机数字化成图的主要步骤。
8. 结合具体实例阐述遥感系列制图的统一协调原则与方法。

参考文献

1 陈述彭,赵英时.遥感地学分析.北京:测绘出版社,1990
2 张力果,林开愚.陆地卫星TM资料1:50 000比例尺专题系列成图规范化研究.北京:科学出版社,1993
3 [日]遥感研究会编,刘勇卫,贺雪鸣译.遥感精解 北京:测绘出版社,1993
4 华瑞林 遥感制图.南京:南京大学出版社,1990
5 彭望琭.遥感数据的计算机处理与地理信息系统.北京:北京师范大学出版社,1991
6 褚广荣,王乃斌.遥感系列成图方法研究 北京:测绘出版社,1992
7 吕国楷等.遥感概论.北京:高等教育出版社,1994

第 8 章

数字地图制图

从20世纪50年代开始，电子计算机技术引入地图学领域，经过理论探讨、应用试验、设备研制和软件发展，已形成地图学中一门新的制作地图的应用技术分支学科，即计算机地图制图学。它可以代替传统的地图制图技术，在生产上已普遍得到应用

计算机地图制图是根据地图原理，以电子计算机的硬、软件为工具，应用数学逻辑方法，研究地图空间信息的获取、变换、存贮、处理、识别、分析和图形输出的理论方法和技术工艺，模拟传统的制图方法，进行地图的设计和编绘。

计算机地图制图系统有三个组成部分：硬件，即执行输入、输出和运算的机器；软件，即驱动机器的各种指令；以及软件控制下由计算机进行处理的数据硬件和软件是计算机地图制图的基本物质条件，数据是计算机处理的对象和内容。

用于计算机地图制图的数据不同于其他领域的数据，是具有地理和制图特性的空间定位数据。数据对于计算机制图非常重要，所有制图资料必须变为计算机可接受的数字形式，并对以各种方法搜集和准备的数据进行编辑处理、管理和维护。因此，从一定意义上讲，计算机地图制图技术也可称为数字制图技术。

必须指出的是，20世纪80年代末以来，随着以计算机技术为核心的信息科学的飞遍发展，数字地图制图技术已由原来的面向地图专家，转变为面向在众多领域内需要用地图来表示空间信息的广大用户。现代数字地图制图技术吸取和融合了计算机辅助设计、数据库和图形图像处理等技术，形成了以桌面地图制图系统（DeskTop Mapping System）为代表的高度集成商品化软件，从而出现了全新的面貌。信息科学是数字地图制图技术的基础，因此，熟悉与掌握数字地图制图技术必须了解相关的信息科学与技术特点。

§1　数字地图制图的技术基础

1.1　信息科学与技术基础

1. 计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics)是研究如何应用计算机生成、处理和显示图形的一门新兴学科。图形的具体应用范围很广，基本可分为两大类：一类是各种以线条为主的图形，例如工程图、地形图、曲线图表等，对应的应用技术领域是计算机辅助设计(CAD)，著名的软件有 Auto Cad、Micro Station 等；另一类是各种自然和人工物体的三维和二维造型，目前已有一些大众化的软件，例如 3D MAX、Coreldraw 等，CAD 软件中也逐步发展了对机械和建筑等规则物体的几何造型功能。

计算机图形学是以解析几何原理为基础的，它把计算机光栅扫描型显示器看成一个平面直角坐标系，屏幕光栅点阵的每一点都有一对(X,Y)坐标表示位置。因此可以将各种图件通过数字化设备变成坐标数据，然后运用几何变换方法，在显示屏上观察获取各种图形变换的画面，并将变换后的最终图形，通过图形输出设备输出成图纸等产品。

计算机图形学的研究内容主要有：直线和圆弧等基本图形元素的生成算法，图形的各种几何变换，图形显示基本软件的组织、标准化以及交互输入方法，几何模型的建立，彩色真实感图形的生成，图形的三维动画方法等。

计算机图形学为地图图形数据的处理与算法设计，奠定了方法基础。

2. 数据库技术

数据库中的数据，不仅包括反映事物数量的数值，还包括各种非数值的信息：文字材料(例如人员的姓名、简历)、图形图像(例如工程图纸、人员的照片)、声音(例如一段音乐)等。

在许多应用场合，使用的数据有以下几个特点：①数据量大；②数据需要长期保存，反复使用；③许多数据要被多个不同的用户公用。

为了适应这些特点，数据必须集中起来以一定的组织方式存放在计算机的外存贮器中，从而能以最佳方式、最少的重复，为多种应用服务。这样组织起来的数据就是数据库(Data base，简写为 DB)。

各种不同的应用，尽管有不同的目的，但在使用有关的数据时，都涉及数据的输入、存贮、修改、增删、查找、读取等基本操作。

为了避免各种应用时的重复劳动，也为了避免公用数据的破坏，人们把对数据库中数据的各种基本操作集中于一个软件来处理。凡要使用数据库时，都利用这个软件来建立、使用、修改数据库中的数据，这样的软件就是数据库管理系统（Data Base Management System，简写为 DBMS）。

数据库和数据库管理系统合起来，称为数据库系统。它是对大量数据进行统一管理，从而提供一种使用灵活、适用性广泛的数据管理技术。近年来，数据库技术发展迅速，在经济管理、情报、人口、资源、国土规划、社会学、军事科学等领域得到了广泛应用，是计算机科学的一个重要研究领域，同时在各个学科的应用中产生了许多实际应用性强的数据库应用技术。其中数据库技术在地图学中的应用，就表现为对空间数据和非空间数据的管理。

由于在专题制图中涉及大量的人口、社会、经济、资源、规划等统计数据，运用数据库技术可以有效地管理这些数据，并且派生出用于专门适合于地图制图的数据格式和数据环境。

3. 数字图像处理

计算机科学的发展，推动了其他多种科学与技术进入数字处理时代。它使航空与航天遥感从图像的目视解译而进一步形成数字图像处理方法。它在许多科学研究、工业生产或管理部门中得到越来越多的应用。例如用于目标跟踪、机器人导航、电视频带压缩、干线交通监视、医用图像增强、疾病辅助诊断，以及传输、处理太空和地下探测到的图像等。近年来，在微机领域中，"奔腾"机型的推出，使原先只能在工作站与小型机等高档设备上运用的图像处理软件纷纷移植到 PC 环境，出现了通用化、大众化的图像编辑和制作工具软件，如 Photoshop 图像处理软件就是目前常用的一种。

数字图像是以栅格阵列的像元数值来记录图像的。一幅黑白图像的灰度级以 0～255 不同的灰阶表示，一幅彩色图像则由红绿蓝三个波段的黑白图像组合，再通过屏幕色光合成形成，常见的一幅图像有 512×512 个像元构成。

数字图像处理技术包括了对图像进行抽象、表示、变换等基础方法，图像处理的有效方法还有：图像增强与恢复、图像分割、图像匹配与识别、图像信息的压缩与编码、图像的二维与三维重建等。

航空与航天遥感图像是地图的重要数据源。新一代的地图制图系统大多支持对图像数据进行地图点、线和面状数据的提取。大多数的地图制图系统以图像格式表示地图点状符号。遥感图像处理系统、地图制图系统与地理信息系统正朝集成化、一体化方向发展。

4. 多媒体技术

多媒体技术是 20 世纪 90 年代以来随着信息技术的发展而形成的一个领域。狭义的多媒体指的是文本、图像、图形、动画、声音等多种可供传递的形式载

体。传统的计算机信息系统处理的对象主要是文本和数据信息，而将上述多种媒体进行综合与集成处理则成为多媒体信息系统的主要特征。由于多媒体信息系统能提供灵活、宽松、亲切的服务效果，从而引起了越来越多人的兴趣，并使许多研究机构和研究人员投入到该领域中来。世界许多著名的计算机厂商正在大规模地投资开发种类繁多、性能优越的多媒体计算机及琳琅满目的配套产品。多媒体系统已经迅速地应用于人类工作和生活的许多领域，为人们的学习、工作、生活带来深远的影响。

根据媒体的时态性，可将多媒体分类为静态媒体(Staticmedia)和连续媒体(Continuous media)两大类：静态媒体是指那些受时间因素影响的媒体，即这些媒体的描述都是相对于某一段具体时间的，包括普通数据(如二进制文件结构)、原始ASCII、数值数据、编码的文本、位映像图等；连续媒体包括音响数据、格式化音响数据、视频数据、动画数据和交互数据。实际上，多媒体系统的特征主要在于处理连续媒体的功能上。

多媒体的出现，拓宽了计算机处理信息的范围，提高了计算机处理信息的深度。多媒体技术将文本、声音、图像集成在一起，改变了用户被动接受信息的方式，为用户提供多角度、直接、方便的信息获取途径，并且诸如超文本系统这类多媒体，其本身就是一个创造环境，允许用户按自己的思想去联想、学习、重组数据库，这样可使用户充分发挥自己的主观能动性。多媒体技术已经开始影响到人类社会、工作、生活、学习的各个方面。多媒体地图信息系统将成为数字地图制图发展的主流方向。目前的电子地图产品即是多媒体地图信息系统的雏形。

1.2 数字地图制图的硬件配置

数字地图制图的硬件配置包括：计算机硬件系统、地图数字化输入设备、地图输出设备(图8-1)。

1. 计算机硬件

计算机硬件是指计算机的实际装置，一般由控制器、运算器、存储器和输入、输出设备五部分组成。其中运算器和控制器是计算机的核心部件，一般统称中央处理器CPU。并把存储器与CPU统称主机。

2. 数字地图输入设备

数字地图输入设备主要包括键盘、鼠标、磁盘、数字化仪等。

键盘主要用于数字、文字的输入。鼠标则用于屏幕数字化时图形数据的输入。磁盘一般用于接收从其他设备或仪器接受的数据，其中包括文档和图形数据。例如从全站仪上接收的测量数据。

数字化仪是数字地图输入比较常用且重要的设备，也称图数转换仪。它的

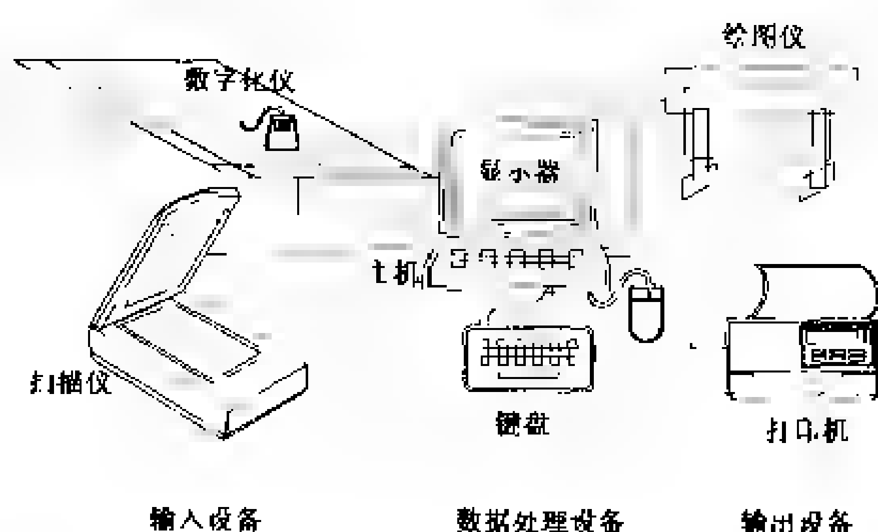


图 8-1 数字地图制图系统的硬件配置

功能是将地图图形转换成数字，并将数字化结果自动记录在磁带或磁盘上，也可直接输入计算机计算（联机数字化）。数字化仪有跟踪数字化仪和扫描数字化仪两类。

跟踪数字化仪是以跟踪单要素线划的方式将线划图形进行数字化。它的结果是把图形全部转换为以矢量方式表示的数据。跟踪数字化仪按自动化程度可分为：手扶跟踪数字化仪、半自动跟踪数字化仪和全自动跟踪数字化仪。手扶跟踪数字化仪由操作人员手扶跟踪头，沿图形线的中心位置移动，图形位置以一串X，Y坐标对记录下来。其操作方式主要有三种：①*点方式* 即由操作员控制，遇到所需记录的点时按动释放键予以记录。②*时间方式* 这是一种自动读点方式。每经过一定的时间间隔（可在 0.01 s 至 1 s 范围内选择）自动记录跟踪头瞬时位置。③*距离方式* 这也是一种自动跟踪方式。当跟踪头在X，Y方向上走过了一定距离间隔（0.1 mm 至 10 mm 之间）就自动读点，记录当前位置。半自动跟踪数字化仪是一种借助传感器扫描原图并跟踪的数字化仪；全自动跟踪数字化仪是把原图的一小部分（在所要跟踪的曲线范围内）通过光电扫描，分解成一些相邻的像点，根据这种网点模阵，通过程序来确定所观测曲线段的轴线轨迹，以求得所需要的控制脉冲，用来控制扫描头的跟踪。

扫描数字化仪将原图分解为栅格像元，并把每一栅格的地图图形转换成数字，从而达到数字化的目的。扫描数字化仪有两种结构类型：滚筒式扫描仪和平台式扫描仪。它们的工作原理是一样的，都是将光源照射到待扫描的材料上完成图像的获取。光源反射到电荷耦合器件（Charge Coupled Device，即 CCD）的光敏元件上实现光电转换。由于待扫材料上不同区域反射的光亮强度不同，而 CCD 器件可检测图像上不同区域反射的不同强度的光，于是 CCD 器件将反射光

波转换为数字信息，用计算机码记录下来。

扫描仪的主要性能指标为：

扫描精度　也称扫描仪的光学分辨率，取决于所采用的CCD中排成直线的光学元素数量，用dpi(dots per inch即每英寸点数)表示。目前最高的光学分辨率为600 dpi，提高光学分辨率可通过软件插值算法实现，例如2 400 dpi的分辨率需插值两次。

扫描速度　主要与扫描次数有关，一般分一次扫描和三次扫描两种。三次扫描慢于一次扫描，因为，这时它采用一只白灯管和三个滤色镜(红、绿、蓝，即RGB)，当光线照射图像再反射到CCD上，需三次分别经过R、G、B三原色滤色镜，才得到彩色的RGB数据。一次扫描则直接选用彩色CCD，光线照射图像直接反射到彩色CCD上。

图像质量　图像质量取决于表示彩色的位数。例如，24位真彩色，指每个像素用24位二进制数表示，$2^{24}=16.8$ M，即每个像素可用16.8 M种颜色表示。

由于数字化仪价格较高，而扫描仪相对比较便宜，对于小幅地图的矢量数据输入，可常用屏幕数字化的方法，即利用地图系统软件，把地图用扫描仪扫描成栅格图像，放在底层，然后用鼠标对照图像在屏幕上进行点、线、面的输入。

3. 地图输出设备

数字地图输出分为电子数据显示输出和纸质输出两大类，它们所需设备有所不同。

数字地图电子显示输出设备主要是显示器，图形显示器大多采用阴极射线管(CRT)作为显示器件，也称CRT显示器。CRT是一种电真空器件，主要由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。电子枪利用静电场来使电子流聚焦和加速，产生精确聚焦和高速度的电子束。荧光屏是用沉积法将荧光屏粉涂敷在玻璃底壁上制成的。当电子束打到荧光屏的荧光粉上时会发出辉光，也称光点。电子束按某种轨迹扫描荧光屏，使光点构成荧光屏上的图形的每一点，从而显示出图形。

微型计算机上的图形显示一般采用图形显示器并配置相应的图形显示卡，常用的图形卡有CGA、EGA、VGA和SVGA等类型。图形显示的分辨率、色彩种数等性能主要取决于显示器及相应的图形显示卡的配置及性能，它直接影响图形、图像的显示质量。分辨率目前有640×480、720×480、800×600、1 024×768、1 600×1 200等几种，色彩主要有256色、增强色(16位)、真彩色(32位)等。

纸质输出所需设备主要包括：打印机、绘图仪。

最常用的纸质输出设备为打印机，它分为针式打印机、喷墨打印机和激光打印机。除了针式打印机之外，喷墨和激光打印机都有黑白和彩色两种。目前已普遍使用的是A_4和A_3两种幅面。幅面大的地图多采用绘图仪。早期的绘图仪称为矢量绘图仪，也叫笔绘图仪，它是一种能接受矢量坐标形式的数字信息，并以一定速度和精度绘制线划图形的输出装置。目前使用较多的大型绘图仪，幅面可达A_0，工作原理基本与打印机的原理相同，只要安装了驱动程序，就可像使用彩色喷墨打印机一样方便。它采用黄、品、青、黑四个墨盒，分层着色。

1.3 数字地图制图技术

1. 数字地图制图技术的发展

任何事物的形成与发展,都离不开一定的内部条件和外部条件。对数字地图制图来说,电子计算机是其形成和发展的基本物质条件,工程设计领域中计算机图形学则为计算机地图制图奠定了一定的理论基础和物质基础,而遥感技术以及获取地理数据的各种电子设备,则促使机助制图向更加纵深方向发展。计算机地图制图技术的发展可分为三个阶段:

初期阶段 大约是20世纪60年代初期至60年代后期。当时的计算机大致处于第二代产品阶段。有关机助制图系统的配置是主要的研究课题,包括硬件设备和以获取图形显示为目标的软件的研制。其标志为20世纪50年代末期,美国Colcomp公司研制成功数控绘图机,它为构成基本的自动绘图系统创造了基本条件;1963年,美国麻省理工学院研制第一套人一机对话交互计算机绘图系统。英国和北美国家在1960年左右,也开展了机助地图制图的研究,1964年牛津大学首先建立了牛津自动制图系统,并首次进行了地形图的机助制图。牛津系统的首次试验,引起了国际制图界的极大兴趣和广泛重视。几乎与此同时,在1963年,由美国哈佛大学计算机绘图实验室研制成功SYMAP系统,这是以行式打印机作为图形输出设备的一种制图系统。这两个机助制图系统的诞生,对这一新兴学科的发展,做出了开创性的贡献。

发展阶段 自20世纪60年代后期到80年代中期,是机助制图的发展阶段。在这一阶段,计算机及其外部设备的研制取得了突飞猛进的进展,已出现第三、第四代产品。计算机性能价格比的变化,有利于计算机应用的推广。在这样的环境下,机助制图以空前的速度和规模发展。这一阶段的主要研究课题是数字地图的应用问题。从地图上或通过其他途径获取的地面数据,除了用于恢复原来的地图图形和产生新的地图之外,更重要的是为军事、规划、设计和管理部门提供咨询服务,使他们能快速地、准确地获取必要的地理信息。

飞跃阶段 从20世纪80年代中期至今,随着新一代计算机产品的出现,机助制图、数字地图制图进入了飞跃阶段,各种制图硬件和软件得到进一步的完善,特别是软件,现在已分为两个分支:一个是专门的绘图系统,各种绘图功能更完善,并引入了专家系统,制图概括也初步实现了智能化,并最终形成了完整的电子出版系统;另一分支是发展为完善的地理信息系统,制图系统成为地理信息系统的一个子系统,配合地理信息系统强大的空间分析功能,使制图系统更具自动分析功能,各种专题图的制作也更为方便、精确。

伴随着计算机网络时代的到来,网络地图系统、网络地理信息系统也已出

现,并止向大型网络(Internet Intranet)方向发展;向开放标准的软件开发工具发展;向数据仓库提供图形解决方案发展;向空间和属性数据的统一数据库管理方向发展。随着这些新的发展,地图系统必将在更广的范围、更深的层次上为人们所接受、应用

2. 数字地图制图软件系统

数字地图制图系统,应具有完整的对各种形式的地理资料输入、处理、分析、制图等功能。它由一系列硬件和软件系统构成,其中软件是系统的灵魂。

在计算机协助下制作地图,不论是采用 CAD CAM/Mapping 系统,还是采用 AF FM(Automated Mapping and Facilities Management)系统,都必须包括三个基本过程,即资料输入、分析处理和地图输出,都需要一定的软件系统支撑。这种软件的一般结构可以分成以下几个部分:

地理资料输入软件　地理资料输入软件的主要功能是,将各种形式(空间形式,包括点、线、面、网格、多边形等;非空间形式,包括文字和数据等)的地理资料输入计算机,并进行一系列的编辑加工,建立可供地理分析和制图的数据文件或数据库。地理资料的输入必须符合地图数学基础的要求,即需要作投影设计、比例尺确定、坐标换算等一系列处理。对于不同的地理资料还必须配有相适应的软件,例如离散点分布联结程序、线性分布要素编码识别程序、多边形信息编辑处理程序、网格数据文件生成程序、多边形与网格转换程序、连续分布的地理要素插值程序、非空间地理信息的属性生成文件程序等。

地理信息分析软件　地理信息分析软件的主要功能是进行地理信息的分析处理,以满足地理学研究中提出的各种要求。地理信息分析是一种十分复杂的工作。因此,地理信息分析软件的设计,只能建立在较为常用的多变量分析方法和传统地理学分析方法的基础上。通过算法化而建立的软件,既能发挥计算机快速处理信息的功能,同时又强调地理专业人员分析地理现象的决策作用。地理分析软件就是个可以不断扩展和完善的"工具箱",包括地理信息统计特征分析程序、地理信息空间分布程序、地理要素相关分析程序、地形分析程序、多要素组合分析程序、加权评价分析程序、地理区域评价分析程序等。

图形输出软件　图形输出软件的主要功能是,将完成了的处理结果以图形或其他形式输出。系统输出方式可以用数字和字符来表示地理分析和计算结果,或输出各种格式的图表和不同类型的专题地图。其中地图是主要输出形式。计算机绘图程序的建立主要考虑到系统的要求和设备特性两个方面。因此,系统的绘图软件设计可分为两大类:一类属于基本绘图子程序,包括使用宽行打印机和绘图机绘制地图基本图形要素的各种绘图软件;另一类属于基本应用绘图程序,即制作不同类型的专题地图的绘图软件。对于不同结构的地理信息文件,编制专题地图可以使用的绘图程序包括:离散点分布符号图程序、线性结构图程

序、连续面等值线程序、透视立体图程序、分级统计图程序、地理要素类型分布图程序等

3 地图制图主要软件产品介绍

目前国内的制图系统主要有地矿部和中国地质大学(武汉)共同研制的MAPCAD及MAPGIS,武汉测绘科技大学研制的吉奥之星,北大方正技术研究所研制的方正智绘。它们都是基于Windows的彩色地图制图、排版系统,它面向制图人员,全面以面向对象技术实现,具有丰富的点、线、面编辑功能,可自动处理拓扑关系,达到了多窗口同步、所见即所得的效果,同时配有屏幕数字化、投影转换、图像配准、符号编辑、颜色管理等辅助系统,是数字地图制图较好的工具。

国外的制图系统也很多,大型的如Intergraph等,但它们更注重空间分析及属性数据管理,制图系统只是它的一部分。小平台如MapInfo桌面地图系统,它虽然功能不如大型系统完善,但它更面向大众,操作简单。它支持数字化仪的图形方式,直接生成矢量图;支持各种的图形格式,可与矢量数据叠加显示,可进行栅格数据与矢量数据的转换;采用图层概念组织管理数据;具有完备的地图制作工具,可方便地绘制地图,包含多种符号库;初步的空间分析能力,如缓冲区分析和叠加分析等;支持地理编码,使用户自己的数据方便地转入地图中去;支持多种数据可视化方式,包括独立值、范围值、等级符号、点密度、柱状图、饼图等。

§2 数字地图的数据结构及其数据库

数据是描述客观事物的数字符,以及所有能输入到计算机中,并被计算机程序处理的符号的集合。地图作为一种空间可视化的载体,在人类社会中影响越来越大,美国副总统戈尔提出的数字地球概念,正是将地理空间作为全球信息系统的基础。1998年我国全国1:25万基础地图数据库的完成并通过鉴定,为中国地理信息技术的发展奠定了基础,同时国家有关部门的重视也说明了全球建立"数字地球"的重要性和时代性。

地图基本要素所能提供可见的有形的"图"的信息,是表达地理信息的基本单元,我们称之为实体。特定的实体往往有很多的属性与之相对应,通过对实体相对应、能代表地理实体类型、等级、数量等特征的属性分析,还能得出社会经济统计等多方面的数据信息。地图实体和属性经转换后输入计算机,成为计算机可识别的图形和文本数据,就构成了数字地图。根据地图数据所反映的信息以及地图实体和属性的概念,可以将地图数据分为空间数据和非空间数据两种结构类型。

2.1 空间数据结构

空间数据对应于地图基本要素即实体，所以又叫几何数据，它是用来表示物体的位置、形态、大小、分布等各方面信息的，是对现实世界中存在的具有定位意义的事物和现象的定量描述。根据在计算机系统中对地图数据的存贮组织、处理方法的不同，以及空间数据本身的几何特征，空间数据又可分为图形数据和图像数据：

1. 图形数据的基本要素为点、线、面和体

图形要素只出现在二维空间数据结构中。因此，表达地图要素的图形都可以看作是点的集合。从数字制图角度看，制作地图的过程，就是把构成地图要素的点、线、面以点的坐标(*x*, *y*, *z*)一一记录下来，形成有规律的数据集合，并对这些数字形式的图形信息进行处理，然后将经过加工的数字信息再现，使其成为地图图形输出的过程。例如，由点的集合可构成直接反映地形起伏情况的数字高程模型(Digital Elevation Model，简称 DEM)。

在地图代数中就认为，点、线、面等地理基本要素构成了一幅地图(二维空间中的平面地图)。在数据组织形式上其中一种简单的矢量结构就表现为：点用单一的坐标对(X, Y)来表示，是地图基本要素中最基本的要素，数据格式为，("代码"，1，$X1$，$Y1$)；线则用多个坐标对来表示，也可以说是用多个点来表示，数据格式为，("代码"，n，$X1$，$Y1$，$X2$，$Y2$，…，$Xn-1$，$Yn-1$，Xn，Yn)，其中 $n>=2$；面同线一样也是用多个坐标对来表示，与线不同的是，面的最后一个坐标对必须与第一个坐标相对应，数据格式为，("代码"，n，$X1$，$Y1$，$X2$，$Y2$，…，$Xn-1$，$Yn-1$，$X1$，$Y1$)，其中 $n>=3$。

图形数据另一个重要的数据结构就是拓扑结构，即基本要素点、线、面和体之间具有邻接、关联和包含的拓扑关系。这种关系从总体方面反映了空间实体间的结构关系，对地图信息的数据处理和空间分析有十分重要的意义。拓扑数据结构中基本拓扑要素定义为：

线段(ARC) 又称弧段，在线段的中间与其他任何线段不存在任何相关关系，在线段的端点才与其他线段有关系，如与其他线段相连(如图8-2中abc、ajc，cde，gfe，ji等)、与自己相连(如图8-2中的k等)、不与其他线段相连等关系，其中线段的一个重要特性就是，它是一条有向线段，它的方向由线段的首尾点来确定。

结点(NODE) 即线段的两个端点，首结点和尾结点(如图8-2中拓扑线段abc中的端点a和c，拓扑线段ajc中的端点a和c，在拓扑线段k中端点k则既是首结点又是尾结点)。

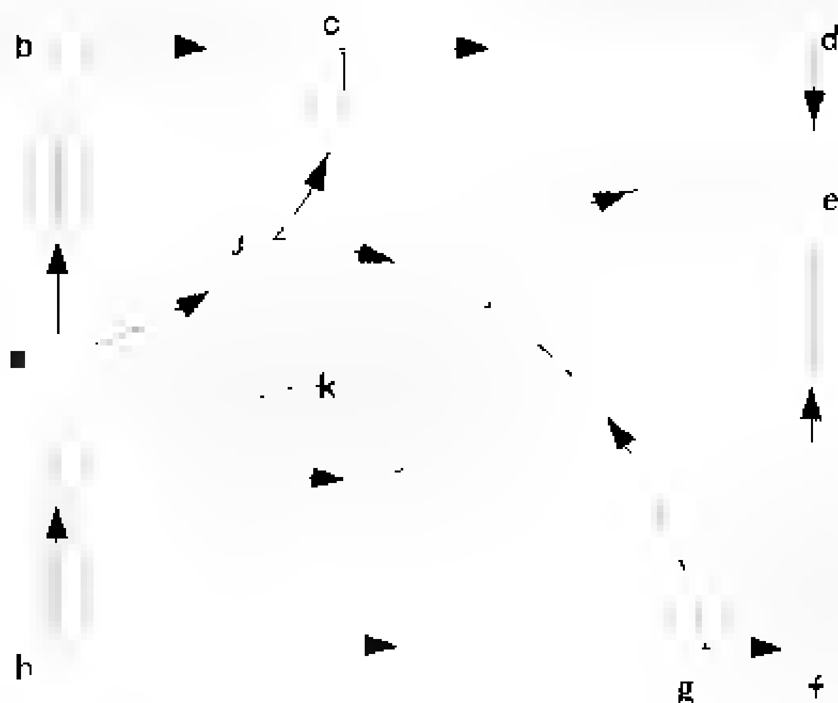


图8-2 拓扑要素示意图

多边形(PLOYGON) 由数条线段有序地连接而成(图8-2中多边形1,2,3,4,5均由多条线段有序连接而成,其中多边形1由线段abc和线段ajc连接而成)

层(LAYER) 具有相同属性的拓扑要素的组合

这些拓扑要素之间的关系可以描述为:

邻接:是指存在于空间图形之间同类要素之间的拓扑关系,例如各个政区区划的相邻关系等。

关联:是指存在于空间图形中的不同类要素之间的拓扑关系,例如道路网中,居民点和居民点、居民点和道路节点之间的关系等。

包含:是指存在于空间图形中同类但不同级的基本要素之间的拓扑关系,例如某省范围内等级道路的千米数、某一泄洪区内的居民点个数等。这些拓扑关系可表现为数据结构及数据组织上:

(1) 线段与点的关系列表:

线段码,顶点数,顶点坐标1,顶点坐标2,…,顶点坐标 n,…

(2) 线段与多边形的关系列表:

线段码,左多边形码,右多边形码

(3) 线段与结点的关系列表:

线段码,首结点,尾结点

(4) 多边形与线段之间的关系列表:

多边形码,线段数,线段代码1,线段代码2,…,线段代码 n,…

2. 图像数据的最小单元为像元(Pixel)

像元也叫像素。像元的灰度值可用于描述客观世界中存在的现象。图像数

据的数据结构实质是像元阵列，每个像元由行列号确定其位置，且具有表示实体属性的编码值。图像栅格数据是二维平面上地图数据的离散量化值，因此只能是地表一定面积内地图数据的近似表示，栅格像元的大小决定地图图像数据的分辨率，同时也决定了图像数据量的大小。图像栅格数据以平面笛卡尔空间来描述地理实体，但是每个笛卡尔平面中的像元只能具有一个属性数据，同一像元要表示多种地图属性则需要用多个笛卡尔平面，每个笛卡尔平面表示一种地理属性或同一属性的不同特征。这种平面称为"层"，有了层的概念就可以对多种属性要素进行叠加、合成、提取等地理分析。影像数据是对空间实体的一种映射，它记录了空间实体的光谱特征，从整体上反映了物体的区域现象，其形式就是存贮在计算机中的遥感影像数据。

3 图像数据的组织形式

(1) 面向栅格单元的组织方式 以不同层中对应于同一像元位置上的各属性值表示为一个数组，具体格式为：记录号，行号，列号，属性值1，属性值2，…

(2) 面向地理实体的组织方式 在同一层中，以多边形为记录顺序，记录多边形的属性值和组成多边形的各像元坐标，这种记录方式适用于地图分析和自动化制图。

(3) 以"层"的方式存取 以"层"为基础，每层中以像元为序，记录其坐标和属性值，这种方式结构简单。

LAYER1(记录1，行号，列号，属性，记录2，…，记录 n，…)
LAYER2(记录1，行号，列号，属性，记录2，…，记录 n，…)
⋮ ⋮ ⋮ ⋮
LAYERn(记录1，行号，列号，属性，记录2，…，记录 n，…)

具有拓扑关系的地图数据所构成的数字地图，在用于地理信息系统的再开发时，对地图数据处理和空间分析具有很大的优势。因为拓扑关系的数据组织结构，在地理信息系统中是空间分析的重要条件。

两种空间数据之间并非绝对不相容，在特定的软件支持下，两者可以相互转化。

2.2 非空间数据结构

非空间数据主要包括专题属性数据、质量描述数据、时间因素等有关属性的语义信息。因为这部分数据中专题属性数据占有相当的比重，所以在很多情况下直接称其为地图属性数据。非空间数据是对空间信息的语义描述，反映空间实体的本质特性，是空间实体相互区别的重要标识。典型的非空间数据如空间实体的名称、类型和数量特征(长度、面积、体积等)，社会经济统计调查数据，影

像成像设备 像幅、分辨率、灰度级等 时间因素也就是GIS中的时间序列 在过去的地图制作中，因为制作过程的漫长和显示动态变化工艺的缺乏，时间因素的表示往往被忽视 今天，由于计算机技术的发展，地图实时动态显示的实现，使得时间因素在地图显示过程中的表示成为可能和必要

非空间数据的组织方式受通用数据库技术的影响较大，因为在空间数据与非空间数据连接之前，非空间数据可以看作是通用数据库的应用，因此现代通用数据库技术在属性数据的组织时，几乎全部能够实现

地图数据库中的非空间数据有如下几种组织模式：

(1) 简单表格数据结构 简单的表格结构把数据看成由行(记录)和列(字段)构成的数据集合 这样的表格结构允许利用属性数据的代码与地图中基本要素相连接、但这给相互独立的表格中维护数据的完整性带来困难，两个不同的表格用到相同的数据时，就得重复数据，从而影响运算效率、

(2) 层次数据结构 层次结构在地图非空间数据的组织中应用很少、因为这种结构面向稳定不变的数据集，它要求库中的数据间联系很少或根本不变。

(3) 网络数据结构 该结构实质上是层次结构的延伸。在层次结构中，一个"子女"允许有且只有一个"父亲"，一个"父亲"则可以有多个"子女"，但是在网络结构中，不仅"父亲"允许有多个"子女"，"子女"也允许有多个"父亲"。网络结构由于在数据库的实现上仍类似于层次结构，所以在地图非空间数据的组织过程中使用并不多

(4) 关系数据结构 在关系型数据结构中，数据也是用表格的形式来组织、但与简单表格中的结构有本质的区别。这里的数据具有更严密的定义，如数据类型一致、数据不可再分割、两行数据不能相同等。关系数据结构具有简单、灵活、存贮效率高等特性，所以在地图非空间数据的组织中得到了广泛的应用。

2.3 地图数据库数据组织

基于地图数据结构的特点，在建立地图数据库时，将矢量图形数据、栅格图像数据和关系型属性数据分离存贮，这种分离存贮的方法能够增强整个系统数据处理的灵活性 目前地图数据的组织，空间数据和非空间数据之间的连接方式主要有：

1. 非空间数据作为空间数据的悬挂体(图8-3)。

在这种方式中，非空间数据是作为空间数据记录的一部分进行存贮的 这种方案当非空间数据量不大时很有效 如MapInfo的系统数据形式就是在非空间数据表中含有一个不可见的空间数据图形对象。但是这种数据组织方式，在进行非空间数据的修改、存贮时，必须经由记录的修改和存贮来实现。大量的非

空间数据 非空间数据(任意长)

图8-3 非空间数据与空间数据的连接方式(Ⅰ)

非空间数据 空间数据 非空间数据

图8-4 非空间数据与空间数据的连接方式(Ⅱ)

空间数据加载于空间数据之上,必然导致系统反映时间的延长,所以在大型专用地图数据库的开发方案中,一般不采用这种形式。即使是为了某种需要必须使用这种方式,也会同时采用下面第二种方式进行数据采集的延续或扩展,以取得系统的最优化。

2. 非空间数据和空间数据自成体系(图8-4)

利用这种组织方式可以达到系统优化。空间数据和非空间数据有其独立的数据库管理子系统(DBMS),而且非空间数据之间仍可以相互分开,以不同的数据形式存放,空间数据和非空间数据间则用特定的工具联系,数据之间仍可以互相访问和定位。例如开放数据库连接(Open Database Connectivity,简称ODBC)就是这种连接工具之一,现在较多的地图应用开发工程中,如GIS软件,也都开发了相应的ODBC工具,用以扩大系统的数据来源,其中MapInfo就提供了这样的工具,Intergraph则提供了RIS(Relational Interface System)这样的产品,专门用于地图空间数据与非空间数据之间的连接。

2.4 地图数据库的管理与设计

1. 地图数据库管理系统

就功能而言,同通用数据库管理系统(DBMS)一样,在数据库中对地图数据的输入、存贮、维护、操作等进行管理。但是地图数据库作为一种用于专门领域的数据库技术,其管理系统仍具有一定的特殊性。

目前地图数据库的管理方案有以下几种:

(1) 对不同的应用目的,建立不同的管理系统。

(2) 对通用DBMS进行功能附加,来达到管理空间数据的功能。

(3) 建立空间数据库管理子系统及属性数据管理子系统,共同受控于总的DBMS。

(4) 建立真正的DBMS,直接对空间数据库和属性数据库进行管理。

2. 地图数据库系统中的坐标体系

地图数据库中涉及多种数据源,这些数据往往具有不同的坐标体系。由于地图数据库在数据处理过程中又涉及多种技术,如数据输入及转化、数据存贮、数据显示等技术,为了解决多方面的问题,在地图数据的处理过程中采用了不同

的坐标体系：

(1) 用户坐标体系 用户坐标体系就是我们平时使用地图时的各种坐标，例如地形图上的高斯-克吕格投影坐标，小比例尺地图中所采用的各种特定坐标，以及某些区域范围使用的没有经纬网控制的地方坐标等。在用户坐标体系中使用较多的是直角坐标系，即笛卡尔坐标系，坐标系参数由用户自行设定，与设备无关。

(2) 设备物理坐标体系 设备物理坐标系就是地图数据在输入、输出(显示)时，根据所使用的设备而采取的坐标体系。虽然设备坐标系采用的也是直角坐标系，但各种设备都有其独特的坐标参数或规定：数字化仪和绘图仪的坐标原点均在其板面的左下角，而图形显示器的坐标原点大都在左上角。在数字化仪上对地图进行数字化时，由于数字化仪采集点给出的是设备物理坐标，而不是地图所依据的地球投影坐标，所以在一般情况下都要进行从设备物理坐标到用户坐标的转换，使得一幅图或多幅相关联的地图始终在同一种参考坐标系中；当地图数据库中的数据在显示器上显示或在绘图仪上输出时，设备所需求的是设备坐标。

(3) 数据库标准坐标体系 数据库标准坐标体系实际上是由用户定义的一种坐标体系。地图数据的特点就是具有大量的图形坐标点，在计算机内存贮时要占用极为可观的存贮空间。虽然现在的硬盘存贮空间越来越大，但为了充分、合理地利用空间，又不损失地图数据真实度，应采用两个字节的整型数来表示地图的图形坐标。所以在地图数据库中，把两字节整型数的值域确定为标准坐标。

在地图数据入库时，用户坐标借助于一定的设备坐标，并转化成数据库标准坐标体系存贮在计算机存贮空间中。这样，采用一种标准的坐标体系，不仅可以节约存贮空间，更重要的是优化了地图数据库中数据的定位功能，方便了数据库中数据的检索。

在整个地图数据库的建库、维护和使用过程中，三种坐标体系的关系可以相互转换如图 8-5 所示。

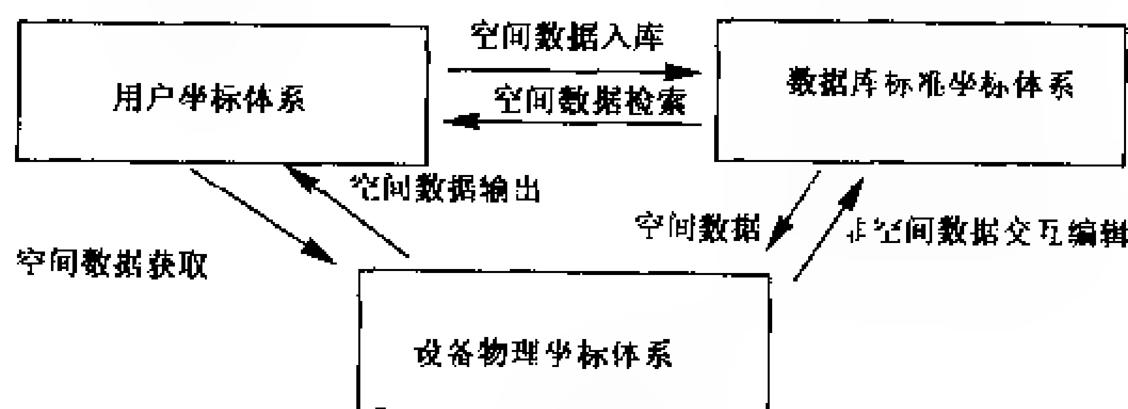


图 8-5 地图数据库中三种坐标体系转换

3. 地图数据库的功能设计

(1) 空间数据和非空间数据的互相检索　地图数据库建成后，并不是简单地将空间数据和非空间数据自成体系地存放起来，而是要在数据使用时，做到空间数据和非空间数据能互相定位，也就是说当选择了空间数据库中的一条记录时，能够在非空间数据库中迅速找到相对应的非空间数据；而选择了非空间数据中的一条记录时，也能迅速在空间数据库中找到所表示的空间数据，并同时以某种形式予以显示。

(2) 空间数据的自动概括　地图数据库的出现是地图数字化的一次革命，其深层的意义不仅体现在以数字的形式表示地图信息，更重要的是通过数字逻辑的方法，对地图内容进行自动化处理，从而在一定的程度上使地图概括增强了客观性和科学性，同时也使制图人员从繁琐枯燥的手工编制中解脱出来。这不仅有对空间数据"形"的概括，更重要的是结合非空间数据库中的属性特征，结合专家知识系统，从而力图达到模拟或接近人脑思维的地图概括水平。

(3) 专题地图的自动生成　地图生产的趋势就是利用电子技术生成专用的地图数据库，每次更新和修改地图数据时只需要修改地图数据库中的数据，利用地图数据库的功能，生成和输出新的专题地图。所以专题地图的自动生成就成了地图数据库的一个重要功能。地图数据库中存放的专题地图数据，有经常变更和相对稳定两类：相对稳定的就可以直接以图形的形式存贮起来，只需要在每次有生产任务时稍加改动；经常变更的主要是指社会经济指标等数据，这样的专题要素可以在空间数据库系统中，先读取非空间数据，而后在空间数据系统中，生成代表非空间数据库中具有数量或质量意义的空间数据，并以适当的形式表现出来。例如，地图中道路的自动生成，在空间数据库中为节约存贮空间，可以只存贮道路中心线的空间数据，但是在生成地图时，必须表示出道路的等级，所以建立的地图数据库就需要能在空间数据库系统中，先读取非空间数据库中有关道路等级的数据，然后在地图空间数据库系统中，直接生成以道路宽度来代表道路等级的地图空间数据。

§3　数字地图的编辑与制印

3.1　数字地图制图的基本流程

与传统的人工制图相比，数字地图制图在数学要素表达(地图投影选择与实现)、地理要素编辑、地图制印等方面都发生了质的变化。数字地图制图的基本流程可分为四个阶段：

1. 编辑准备阶段

这一阶段的工作与传统的制图过程基本相同，包括收集、分析评价和确定编图资料，根据编图要求选定地图投影、比例尺、地图内容、表示方法等，并按自动制图的要求做些编辑准备工作。例如：为了数字化，应对原始资料做进一步处理，确定地图资料的数字化方法，进行数字化前的编辑处理；设计地图内容要素的数字编码系统、研究程序设计的内容和要求；制订数字制图的编辑计划。

2. 数字化阶段

将具有模拟性质的图形和具有实际意义的属性转化为计算机可接受的数字，称为数字化。它是进行计算机存贮、识别和处理所必须的工作。数字化的方法有手扶跟踪和扫描数字化两种。数字记录的结构可分为矢量格式和栅格格式。把地图资料转换成数字后，将数据记入存贮介质，建立数据库，供计算机处理和调用。

3. 数据处理和编辑阶段

这是数字制图的核心工作。数字化信息输入计算机后要进行两方面的处理：一是对数字化信息本身作规范化处理，主要有数据的检查、纠正，重新生成数字化文件，转换特征码，统一坐标原点，进行比例尺的变换，不同资料的数据合并归类等；另一方面是为实施地图编制而进行的数据处理，包括地图数学基础的建立，不同地图的投影变换，对数据进行选取和概括，各种专门符号、图形和注记的绘制处理。计算机的这些处理工作，都是编辑人员利用系统工具操作实现的。

4. 图形输出阶段

图形输出是将经计算机处理后的数据转换为图形，可以在显示器的屏幕上显示，可以存贮在磁盘上，也可以通过绘图仪或打印机以纸质输出。

3.2 地图投影与坐标系选择

1. 地图投影选择

地图投影的选取决定了地图的应用及其比例尺大小，在桌面数字制图软件环境下，用户可对每一个新创建文件进行投影设置和选择。以 MapInfo 为例，它以两级目录菜单的形式提供了 300 多个预定义坐标系，当用户要使用其他坐标系或创建新的坐标系时，还可以通过修改投影参数文件(Mapinfow.prj)来实现。这个数据文件以分行形式记录每一个预定义坐标系的参数表，如坐标系名称、投影代码、基准面代码、坐标单位、原点经度、原点纬度、标准纬线 1、标准纬线 2、方位角、比例系数等。MapInfo 系统定义了 50 个基准面代码，它们包括了全世界和一些国家采用的基准面。如果用户需要采用其他的基准面，并且知道该基准面的数学参数，则可以使用代码在该投影参数文件中定义这个基准面。

2. 坐标系选择

坐标系可以明确地图对象的空间定位坐标，它包括一组参数，如坐标系名称、投影类型、基准面、坐标单位、原点坐标、方位角、比例系数等，其中参数之一就是投影，所以投影只是坐标系的一部分。现有的许多桌面GIS软件大多提供了多种不同的坐标系(基准面)供用户选择，少数软件还允许用户建立自己的坐标系

3.3 地图数字化与图形要素编辑

1. 地图数字化

地图数字化是地理空间数据输入的重要途径，图形经过数字化处理后，传统的纸质地图可转换成数字地图产品

数字化的主要步骤简述如下：

数字化前的准备工作主要是对数字化底图进行放大、控制点标注、制作薄膜图等加工处理，其目的是为了提高数字化的精度和速度。

数字化操作时必须确定地图的坐标系、比例尺和参考坐标控制点的位置对于数字化仪而言，需对数字化设备进行设置，对于屏幕数字化而言，需对扫描图像进行配准。无论哪种方式均包括对地图投影的选取、地图单位的设定和控制点的安装、编辑、保存等。现有能提供数字化功能的GIS软件和CAD软件，大多利用用户输入的几个(一般不少于4个)控制点坐标，建立底图和数字化地图之间的坐标变换公式，控制点坐标的精度、分布、个数等因素，对最终数字化地图的精度影响很大。一般而言，只要系统返回的控制点精度在用户允许的范围之内即可被接受

一旦设定了地图的控制点、投影和计量单位，并确定了可接受的控制点误差，就可在点、线、多边形的定义下，利用数字化软件提供的画图工具，对底图实施数字化　桌面制图软件一般都提供了完整的绘图工具和编辑命令，这些工具允许在地图上绘制和修改图形对象，也可以用这些工具自定义地图上的颜色、填充图案、线样式、符号以及文本等。

2. 图形要素编辑

无论以何种数字化方式输入数据，都会出现误差，最常见的有多边形不闭合、相邻多边形出现重叠和裂口、相邻线段出现断头、相邻图幅边缘不匹配等。因此在任何环境下的数字化结果，都应进行图形的编辑工作以及检查误差。主要的编辑工作有图形要素的修改、增加、删除和图幅拼接。

图形单元的修改与增删　造成同一多边形不闭合或同一线段不连接的原因可能是数字化时引起的误差，例如忽略了点与点之间的连结，也可能是输入了错

误的代码；当相邻多边形的共同边界需要数字化二次时，便会出现重叠和裂口。对于这类多边形或线段的空间逻辑性错误，需要在数字化后通过对相关结点进行移动、删除或增加适当结点以纠正错误。

图幅拼接 当对底图进行数字化或扫描后，如果设备（数字化仪或扫描仪）的工作区间较小，或由于图幅比较大，难以将研究区域的底图以整幅的形式来完成，就需要对图幅进行拼接处理。在分幅输入完成并经过误差检查和比较后，虽然对每一分幅来说错误纠正是完成了，但在两幅图进行拼接时，一般仍会出现边缘不匹配的情况。因此需要进行图幅数据边缘匹配处理。一般的方法是先对准两幅图的一条边缘线，然后再调整其他线段使其保持连续性。

3 坐标变换

坐标变换的实质是建立两个平面点之间的一一对应关系。对于数字化地图产品来说，其数字化结果应显示为用户确定的坐标系数据，但是在实际生成过程中，一方面，可能需要将一种坐标系下的数字化地图转换为另一坐标系下的数据；另一方面，许多数字化地图来源于其他系统格式数据，大量的数据坐标并不一定属于用户所要求的坐标系，有的数据坐标根本没有地理意义（例如部分CAD绘图软件包数据）。对于这类情况，必须提供从一种地图坐标系点到另一种坐标系点的坐标关系式，即建立坐标变换的数学模型。

现有的几种商业GIS软件和CAD软件中，一般采用以下两种方法实现坐标变换：一种是仿射变换（Affine Transformation），它包含了坐标的缩放（scale）、平移（translate）、旋转（rotate）三种变换；另一种是相似变换（Similarity Transformation），它实质上也是坐标系间的平移、旋转和缩放尺度的变换，不过相似变换不能进行X、Y轴不均匀缩放变换，而仿射变换能保证更高的数据精度。

3.4 地图分层

分层是数字地图制图中一个很重要的概念。例如一幅城市中心城区的数字化底图，图上就有很多不同的要素类型：面状的要素如街区地块、绿地、湖泊等，线状的要素如交通路线，还有很多文字注记如道路名称等。不同的图形要素类型具有不同的图形空间结构，所以应当将不同图形要素类型分为不同的图层存放。

现有的桌面制图软件和专业GIS软件对“层”的称法不尽相同，有“Layer”、“Coverage”、“Theme”等，它们均按图层来组织地图数据。

对于同一地理区域，不同专题的数字地图产品会使用同一图形数据，例如城市交通图和土地利用图上都有道路名称要素。通过图形要素的分层可以方便地实现不同数字产品之间数据的“共享”，从而大大减少数字化作业量，同时也可保

证地图数据的质量。

所以，数字化一幅地图的分层工作往往先需确定图上的构成要素，例如道路、地块、水域、地名等；然后明确各图形要素是以面状、线状还是注记方式表示。同是道路，在不同的比例尺和不同的用户需求条件下，可能以线状也可能以面状形式表示。

下面是某地1:100 000地形图数字化时的图形要素分层分类情况的一个实例：

表8-1 数字地图的分层实例

ID	要素名	输入类型	使用颜色
1	街区	面状	
2	市界	线状	紫
3	区界	线状	紫
4	街道界	线状	紫
5	铁路	线状	粉
6	双线河	线状	淡蓝
7	单线河	线状	深蓝
9	政府驻地	符号注记	大红
10	街道驻地	符号注记	大红
11	医院	符号注记	大红
12	学校	符号注记	大红
13	区名	文本注记	大红
14	街道名	文本注记	大红
15	[illegible]名	文本注记	黄
16	学校名	文本注记	黄
17	级路名	文本注记	棕
18	级路名	文本注记	棕

8.5 专题地图设计

以计算机桌面制图系统进行专题地图的制作已相当普遍，同一地理信息可以用不同的表示方法和符号系统来传递，最常见的专题地图表示方法有点密度(Dot Density)、等级符号(Graduated)、独立值(Unique Value)、范围法(Scope)、直方图(Bar Chart)、饼图(Pie Chart)等。同一表示方法也可以传递不同的地理信息。

制作专题地图是根据某个特定的专题对地图进行渲染的过程 专题通常是数据的某些特有属性字段(或称"专题变量"),渲染不仅是指对色彩的渲染,而且还包括所用的填充图案、符号以及用于显示地图数据的专题方法(例如饼图和直方图)。专题渲染图层作为单独的图层绘制在基础底图图层上面,两者是分开存放的。

在桌面制图软件环境下,一般的专题制图步骤为:

(1) 根据所执行的专题变量,确定使用的专题表示方法。其中饼图和直方图可以一次显示多个专题变量,其他类型一次则只能显示一个变量。

(2) 确定从何处获取数据,特别是使用不同图表上的数据时,需要通过数据之间的聚合来实现。

(3) 自定义专题图例。创建专题图时软件会自动创建图例,并解释颜色、符号、大小分别代表什么,但用户可以进行自定义,例如更改颜色和符号、改变图例的顺序、增加标题和副标题、自定义字体和变量范围等。

(4) 保存专题地图。

3.6 图面配置与输出

最终的数字地图产品不仅包括各种分层的图形要素,还可能包括与图形相关的各类统计图表、图例乃至图片,所以需要将不同的图形窗口、统计图窗口和图例窗口在一个页面上妥善地安排,这就是图面(Layout)的配置问题。现有的许多桌面制图软件都提供了对多窗口、多种图表进行图面配置的功能。

地图输出功能设计一般包括了输出设备类型、输出纸张、输出幅面、比例尺、黑白或彩色等参数的选择。

§4 电子地图

电子地图是20世纪80年代初利用计算机辅助地图制图技术而形成的地图新品种。随着信息科学和计算机技术的发展,尤其是PC机功能的大幅度提高,图形设备的快速发展和更新,电子地图得到了迅速的运用和普及。目前,国内外已有一定数量的电子地图(集)投放市场,例如《世界数字地图集》(The Digital Atlas of World),《加拿大电子地图集》(Canada Electronic of Atlas),中国科学院地理研究所制作的《京津唐生态环境地图集》等。

4.1 电子地图的概念

电子地图,也称为数字地图,是地图制作和应用的一个系统,是一种数字化了的地图。电子地图可以存放在数字存储介质上,例如磁带、软盘、MO、CD-ROM(Compact Disk Read Only Memory)、DVD-ROM(Digital Video Disk-Read Only Memory)等。地图图形可以显示在计算机屏幕上,也可以随时打印输出到纸面上。地图显示出来的内容是动态、可调整的,能由使用者交互式地操作。电子地图一般均带有一个使用方便的操作界面,以供使用者操作。不同的电子地图系统具有相对统一的操作界面,例如相似的鼠标操作方式和相似的功能提示图标,使用者能够触类旁通。电子地图大多连接着属性数据库,或者连接多媒体信息,能作查询、计算、统计和分析。电子地图图形不限于二维矢量图形,往往是矢量和栅格形式联合使用,用先进的计算机图形技术和计算机动画技术反映多维地图信息。

4.2 电子地图的优点

电子地图与纸质介质的地图相比,具有许多优点:

1. 交互性

纸质地图一旦印刷完成即固定成型,不再变化。电子地图则是使用者在不断与计算机的对话过程中动态生成出来的,使用者可以指定地图显示范围,设定地图显示比例尺和自由组织地图上出现的地物要素种类、个数等。使用者每发布一个指令,即能生成一张新的地图。使用者与计算机对话的过程称为交互式操作。因此,电子地图比纸质地图更具有使用上的灵活性。

2. 无级缩放

纸质地图都具有一定比例尺,一张图的比例尺是一成不变的。电子地图则不然,在一定限度内可以任意无级缩放和开窗显示,以满足应用的需求。这就好比使用者拿着放大镜在查看地图,而且放大倍数还能任意调节。

3. 无缝

纸质地图受纸张幅面大小限制,图幅总是有一定范围,一个地区可能需要多张图幅才能容纳。计算机屏幕虽然一般比地图纸张要小,但是电子地图却能"漫游"和"平移"。能一次性容纳一个地区的所有地图内容,不需要地图分幅,所以是无缝的,这样能避免由地图分幅和接边引起的误差。

4. 动态载负量调整

载负量是信息载体上信息的密度,地图载负量一般为地图上地物的密度。地图载负量小,是指地图上地物太稀疏,使得地图所具有的信息量不够;地图载

负量大，是指地图上地物太密集，使得地图杂乱难读。所以纸张地图在比例尺固定后，必须通过地图概括处理，使得地图上出现的内容保持一定的密度。电子地图因为可以无级缩放，所以一般带有自动载负量调整系统，能动态调整地图载负量，使得屏幕上显示的地图保持适当的载负量，以保证地图的易读性。例如，反映城市交通的电子地图，当显示的图形为全市范围时，就没有必要显示出每条道路的名称，可能只需要显示少数主要干道的名称，而当地图放大到几个街区范围时，每条道路的名称都应该显示出来。这一切均由计算机按照预先设计好的模式，动态调整好载负量。比例尺越小，显示信息越概要；反之，比例尺越大，显示的信息越详细。

5. 多维化

纸质地图常常是二维矢量的图形，如果要反映三维分布的地图信息，例如地形、气压分布等，经典的方法是采用等高线、等值线等方法。电子地图除了也能显示等高线和等值线外，还可直接生成三维立体影像，甚至还能在地形三维影像上叠加遥感图像，能很逼真地再现或者模拟真实的地面情况。其他一些传统的地图要素，例如政区界线、地物标注等也能被三维投影后，叠加显示到三维图像上。这些三维地图图像都能交互式地由使用者任意缩放和移动观测，这是纸质地图很难完成的功能。此外，运用计算机动画技术，还产生了两种新的地图形式：

飞行地图　能模拟乘坐在飞行器上，按一定高度和路线所观测到的三维图像，高度和飞行路线可以自行设定。

演进地图　能够连续显示地物的演变过程，例如在一幅反映二战历史的电子地图中，以动画形式连续显示了纳粹德国在欧洲的扩张过程，非常直观。使用者还能随时停止播放，观看静止图像，还能直接跳转到任意年代，看当时的国际形势图。

6. 信息丰富

由于受到比例尺、图幅范围和载负量的限制，纸质地图能反映的信息量有限，只能采用地图符号的结构、色彩和大小来反映地物的属性。电子地图能反映的信息量则大得多，它除了具备各种地图符号，还能配合外挂数据库来使用和查询。计算机屏幕采用多窗口技术，在交互式操作中，使用者随时可以查询地物的信息，将信息在额外的窗口中显示出来，阅毕再移去属性窗口，继续地图操作，从而大大丰富了地图所表现的内容。

7. 共享性

数字化使信息容易复制、传播和共享。电子地图能够大量无损失复制，并且能通过计算机网络传播。存放在CD-ROM、DVD-ROM上的地图目前已经相当普及。在Internet上也有了地图库，使用者能迅速方便地查找到世界上很多地区和

各种类型的地图。

8 计算、统计和分析功能

在纸质地图上可以进行一些比较简单的量算和分析，但一般比较费时，精度也不易保证。用电子地图进行计算、统计和分析则非常便捷。

4.3 电子地图的应用举例

电子地图的功能和特点，决定了电子地图的应用范围。作为信息时代的新型地图产品，电子地图不仅具备了地图的基本功能，在应用方面还有其独特之处。它可以科学而形象地表示和传递地理环境信息，作为人们快速了解、认识和研究客观世界的重要工具，因而广泛地应用于经济建设、教学、科研、军事指挥等各领域；电子地图是和计算机系统融为一体的，因此可使其充分利用计算机信息处理功能，挖掘地图信息分析的应用潜力，进行空间信息的定量分析；它可以利用计算机的图形处理功能，制作一些新的地图图形，例如地图动画、电子沙盘等；电子地图是在计算机环境中制作的，可以实时修改变化的信息，更改内容，缩短制作地图的周期，为用户分析地图内容和利用地图表达信息提供了方便。

1. 在地图量算和分析中的应用

在地图上量算坐标、角度、长度、距离、面积、体积、高度、坡度、密度、梯度、强度等是地图应用中常遇到的作业内容。这些工作在纸质地图上实施时，需要使用一定的工具和手工处理方法，通常操作比较繁琐、复杂，精度也不易保证。但在电子地图上，可通过直接调用相应的算法，操作简单方便，精度仅取决于地图比例尺。生产和科研部门经常利用地图进行问题的分析研究，若利用电子地图进行更能显示其优越性。

2. 在规划管理中的应用

规划管理需要大量信息和数据支持，地图作为空间信息的载体和最有效的表达方式，在规划管理中是必不可少的。规划管理中使用的地图不仅能覆盖其规划管理的区域，而且应具有与使用目的相适宜的比例尺和地图投影，内容现势性要强，并具有多级比例尺的专题地图。电子地图检索调阅方便，可进行定量分析，实时生成、修改或更新信息，能保证规划管理分析所用资料的现势性，利于辅助决策，完全能符合现代化规划管理对地图的要求。此外，电子地图也可作为标绘专题信息的底图，利用统计数据快速生成专题地图。

3. 在军事指挥中的应用

在军队自动化指挥系统中，指挥员研究战场环境和下达命令将通过电子地图的系统与卫星联系，从屏幕上观察战局变化，指挥部队行动。作为现代武装力量的标志，在现代的飞机、舰船、汽车甚至作战坦克上，都装有电子地图系统，可

随时将自己所在的位置实时显示在电子地图上,供驾驶人员观察、分析和操作。目前各种军事指挥辅助决策系统中的电子地图,都具有地形显示、地形分析和军事态势标绘的功能。

4. 在其他领域中的应用

电子地图的应用领域十分广泛,各种与空间环境有关的信息系统,都可以利用电子地图:大气预报电子地图是和气象信息处理系统相连接,是表示气象信息分析处理结果的一种形式。国家防汛指挥中心使用电子地图进行防汛抗洪指挥等。

4.4 电子地图的图种举例

1. 导航图

现代交通发展以后,出现了复杂的公路体系。这种公路网错综复杂、四通八达,而周围景象往往千篇一律,不容易辨识,地图是开车行路的必备工具,因此电子导航地图应运而生。一张 CD-ROM 能装下全国所有大大小小的道路数据,开车时携带便携式计算机,就能随时查阅地图。电子地图不仅只用一张光盘就替代了一本地图集,它还有更多的功能。例如,电子地图会帮助选择一条最快捷的路线;设法寻找目的地,只要有个地址,就可用地理编码技术自动找到并定位;详细的资料库能辅助决定旅行计划,告知旅途中会路过哪些名胜景点;电子地图能在行进中接通全球定位系统(GPS),将目前所处的位置准确地显示在地图上,并指示前进路线和方向;若通过服务台,将当前道路实况传输到电子地图中,就能实时发布哪里有事故、哪里更快速等路况消息。

此类电子地图有美国的 DeLorme Street Atlas USA 和日本的 Navin You 等。

2. 多媒体地图

百科全书装进了 CD-ROM,不仅体积和重量变小,更增加了声音、动画和电影,能方便地全文检索,地貌、地形、环境、政区、河流、城市等内容随读者需要而显示,并能排列组合出许多类型的地图来。此外将现有地图作为底图,添加上自己的标记和注释,就制作出了自己的地图。

这类多媒体地图著名的有 Microsoft Virtual Globe 和 The Learning Company Inc. 生产的 3D Atlas 等。其中 3D Atlas 从名称就可以知道这是一个三维地图集。

3. 遥感地图

遥感信息是新的数据源,具有精度高、更新快等优点,是现代规划、管理和研究工作的重要数据。遥感分为航空遥感和航天遥感。这两类遥感数据都能制成电子地图。遥感数据多为栅格影像,但通过叠加矢量的数据,例如政区、注记等,能在一定范围内作地图用。例如英国某公司出售有欧洲主要城市航空遥感地图

集，其分辨率可达2 m。

4 地形图

除了专题地图、地图集、遥感地图，普通地图也加入了电子地图的行列，比较著名的是DeLorme Topo USA，它由4张CD-ROM组成，收录了美国50个州的地形信息、道路信息、土地覆盖信息，能显示三维立体地形，能做地形剖面切割分析，能连接GPS，能按山脉、河流、地名、经纬度以及邮政编码快速检索。

5．网络地图

Internet是电子地图存在和流传的最好媒介之一，其中有非常丰富的电子地图资源，一般有两种类型：

地图资料库：在数据库中存放了预先制作好的大量地图图形，通过各种检索方式获得地图图形。交互式地图：允许使用者操作发布制图命令，例如指定范围，指定比例尺，指定要显示的地图要素，然后通过实时计算绘出地图，通过网络发送给使用者。有一类站点可以作地址查询，例如只要输入美国的一个地址，几分钟内这个地方的地图就出现在计算机屏幕上了。

地图信息通过网络发布，在美国是国家空间信息基础设施建设的重要内容，现在已经不是分散的信息发布，而是纳入统一规划并制定有统一规范的一项工程，全国范围设立了信息交换站（Clearing house），可以通过标准化的索引（Meta data）来检索数据。

比较著名的电子地图网站有：http://www.mapquest.com/，http://www.maps.com（世界地图集），http://www.mapblast.com（美国地图），在http://www.streetmap.com/上有一份网上各国电子地图的索引地址表，在http://www.nmd.usgs.gov/（美国地质调查局）上有丰富的电子地图信息。

随着信息社会的到来，社会生活中用计算机处理地图将成为不可缺少的技术手段，因此电子地图是一个发展迅速、运用日益普及的新领域，有着广泛的应用前景。

本章提要

数字地图制图是计算机技术引入地图学领域后，形成的一门新的地图制图技术。它由硬件、软件和数据三个基本部分组成。

现代数字地图制图技术是随着计算机图形学、数据库、数字图像处理和多媒体技术等信息科学与技术的发展而得到迅速发展的。

数字地图制图技术的基本设备是计算机、数字化仪、扫描仪、显示器、打印机和绘图仪。

地图数据分为空间数据和属性数据两大类，空间数据又分为矢量数据和栅格数据两种结构，拓扑结构是一种重要的矢量数据结构。

以数据库理论为指导，建立、管理和应用地图数据库是数字制图的重要研究内容。

数字地图的制作过程包括地图坐标系选择、数字化、地图要素编辑、地图分层、图面配置、图形输出等。

电子地图是数字地图制图的重要技术和产品，它与纸质地图相比具有交互性、无缝、可动态调整载负量、可多维显示、统计分析等优点。

复习思考题

1. 什么叫数字制图？它主要有哪几个部分组成？
2. 数字制图技术有哪些技术支撑？各种技术的主要作用是什么？
3. 数字制图需要哪些硬件设备？数字制图软件的主要功能是什么？
4. 何谓矢量结构？何谓栅格结构？它们有哪些特点？地图数据库包括哪些内容？
5. 何谓数字化？有哪两种数字化方法？在操作运用上有什么区别？
6. 什么是地图数据分层？它有什么作用？
7. 何谓电子地图？它有什么特点？

参考文献

1 黄杏元，汤勤．地理信息系统概论．北京：高等教育出版社，1989
2 张超等．地理信息系统概论．北京：高等教育出版社，1995
3 邬伦等．地理信息系统教程．北京：北京大学出版社，1994
4 梁启章．GIS 和计算机制图．北京：科学出版社，1995
5 吴忠性，杨启和．数学制图学原理．北京：测绘出版社，1987
6 郭仁忠．空间分析．武汉：武汉测绘科技大学出版社，1997

第 9 章

地理信息系统与地图

人们对各种信息都需要按照一定的目的予以分类，以适当的方式进行收集、存贮、管理，并以有效的方法进行分析利用。在这一过程中所采用的技术与方法，就是各类"信息系统"。信息系统的一个重要功能，就是帮助人类提高决策的能力。地理信息系统(Geographic Information System，缩称为 GIS)，属于信息系统的一种，是一种专业的信息系统，它的对象是那些具有空间属性特征的地理信息。地理信息系统不同于其他类型的信息系统，主要一点就是对空间实体本身及其空间关系的处理。由于地理信息的类型多、数据量大、空间关系复杂，因此，处理空间实体及其关系的技术，比处理其他类型的信息更为困难。也正是由于地理信息系统具有对地理现象的分析、评价和预测能力，以及为管理和生产部门，为地学工作者提供多维信息的决策支持功能，因此成为一门新兴的技术学科，受到了日益广泛的重视。

地理信息系统与地理学有着密切关系，它是计算机技术与地理学相结合的产物。它利用计算机技术来处理与地理空间有关的问题，是地理学研究方法上一次质的飞跃。地理信息系统的出现为地理学从定性描述走向定量分析，从单系统走向复杂系统的研究提供了一个现代化的技术工具。

地理信息系统与地图学有着密切联系：地理信息系统脱胎于地图，并在机助制图的基础上发展起来；图形处理是地理信息系统的重要内容；地图是地理信息系统中主要的空间数据来源，也是它最终输出的一种主要形式。所以，地图是地理信息系统的主要支撑。

§1 地理信息系统概述

1960 年加拿大诺基尔·汤姆林逊(Roger F·Tomlinson)提出了一个新颖的思想：要把地图变成数字形式，以便于计算机进行处理和分析。当时极少有人能看到计算机在 GIS 这个新的领域中的应用前景。之后，他又首先提出了地理信息系统这一术语，并建立了世界上第一个 GIS——加拿大地理信息系统(CGIS)，用于自然资源的管理和规划。同样，当时也很少有人能预见到这会成为一个新兴

产业的标志。然而，在过去短短的二十余年中，地理信息系统由一个诱人的思想发展成为一个新兴的产业——地理信息产业，一个新兴的学科——地理信息学或地球信息学(Geomatics 或 Geo-informatics)。

1.1 地理信息系统的定义与组成

1. 定义

地理信息系统就是综合处理和分析空间数据的一种技术系统。它是以地理空间数据库为基础，在计算机软硬件的支持下，对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示，并采用地理模型分析方法，实时提供多种空间和动态的地理信息，为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机技术系统。每一个具体的地理信息系统，其功能、用途和内容都可能存在较大的差异，但必然包含这几方面的基本内容：数据输入、数据管理、数据分析与处理、数据显示与输出。这些基本内容通过用户接口与界面被完整地联接成一个统一的整体，构成一个完整的地理信息系统。从这里可以看出，地理信息系统处理的是数据，数据代表了具体的信息。这就必须把原来那些非数字的地理环境信息转变成数字。这个转换可以通过仪器来实现，使对地理环境信息的处理成为对数据的处理。而处理的结果又必须通过相反的变换，恢复成其原来的面目，如文字、图像和图形等，成为具有实际意义的信息。

地理信息系统所处理的信息具有重要的特点，就是集中在空间实体及它们之间的相互关系上。它常常是用来分析和处理一定地理区域内分布的自然或社会经济现象或过程，为决策规划提供支持。因此，这就要求地理信息系统中表示空间实体的数据一定是空间数据。空间数据就是既要有位置特征又要有属性特征，即这些数据既有位置的坐标，又要有其性质特征的表示。

2. 组成

根据在地理信息系统中所起的不同作用，可以将其分为四个组成部分：

(1) 硬件　指构成地理信息系统所需要的基本设备，主要是计算机及其外围设备(如数字化仪、绘图仪和外存贮设备等)。计算机是地理信息系统运行、完成数据操作和分析的物理组织。数字化仪或扫描仪能将地图或像片等模拟图形，转换成数字形式送入计算机。绘图仪或其他类型的图形显示或输出设备，用于将处理后的数据制成可视化的多种模拟图像，例如地图、照片和屏幕显示等。磁盘机或光盘机等外存贮设备主要用于提供足够的存贮空间，还可与其他系统进行数据交换。硬件是建立地理信息系统的物质保证。硬件规模的大小，也决定着系统的功能大小。

(2) 软件　指机器运行所需的各种程序及有关资料。其主要作用是完成地

理信息系统的各种应用操作。一个完整的综合性的地理信息系统软件一般应包括五个基本模块，即五个子系统：

① 数据输入子系统：是一些应用程序的集合，其功能是借助于一定的外围设备，将数据源进行转换、检验并送入数据库。例如，文字或数字可通过键盘或转贮的方法输入计算机；图形或图像则可通过图/数转换装置，转换为计算机能接受的数字形式才能输入。

② 数据的预处理子系统：对获取的数据进行多种处理，使其适合于进一步的分析应用，才能输入数据库。该系统一般包括这样几个基本的预处理程序：比例尺变换、投影变换、数据格式变换、误差检测与编辑、几何纠正和配准等。

③ 数据的存贮与管理子系统：数据的存贮和管理通常由图形数据库、属性数据库和数据库管理系统（DBMS）完成。数据库在地理信息系统中的作用是十分重要的。它是地理信息的载体，数据处理过程中的信息提供者，又是处理结果的归宿，在检索与输出过程中是形成绘图文件和其他各种地理数据文件的数据源。数据库是地理信息系统的关键之一，因为数据结构的好坏直接影响地理信息系统的效益。

④ 空间分析子系统：空间分析的功能是地理信息系统区别于计算机地图制图系统的重要特征。该系统的组成模块与数量取决于建立系统的目的和用途。

⑤ 数据输出子系统：分析和处理的结果，可用地图、表格和图形等多种形式传输给用户。它们可以显示在屏幕上，或输出在硬拷贝上提供应用。

（3）数据　地理信息系统运行所需的各种数据，包括数字化了的地图和图像数据，以及分析统计数据等。收集和处理数据是应用地理信息系统研究问题时，最复杂和最花代价的一部分内容。获取可靠的和精确的空间数据对建立信息系统的数据库非常重要，也决定着地理信息系统的实际应用效益。因此，须根据系统的功能和目的收集具有权威性和科学性的数据。任何信息系统都只有在拥有完备、正确的数据基础上才能发挥其作用。

（4）操作者　运转一个地理信息系统不仅需要硬件、软件和数据，更要有"活的软件"，就是运行这个系统的操作人员。理想的操作人员不仅对地理信息系统的功能比较熟悉，而且还应具有对空间信息进行分析、表现传统制图的素质。

1.2　地理信息系统类型

由于地理信息系统技术发展很快，因此可以从许多不同的视角对它进行分类，例如按地理信息系统的规模和应用目的，则可以有以下三种不同的类型：

1. 综合性地理信息系统

它是按全国统一的标准存贮国家范围的各种自然和社会经济要素，提供成套的信息分析和处理的技术。它比较重视整个系统的职能，而不偏重于某一方面的应用。它可为全国性的咨询服务。例如我国的国情信息系统，日本的国土信息系统，加拿大的国家地理信息系统等，均属于这种类型。

2. 区域性地理信息系统

它是以区域作为综合研究的目标而建立的地理信息系统，这里的区域可以是自然区、行政区或其他任意类型的区域，这种系统强调的是区域性，并突出某一个主体，为区域性的研究、管理和规划提供信息服务。例如，我国的黄土高原信息系统，美国的明尼苏达州土地管理信息系统等。

3. 专题性地理信息系统

以某专业或某个问题作为研究对象而建立的地理信息系统。这种系统的应用范围有限，强调的是专业目标，在本专业范围内的不同区域可以推广应用。例如：森林管理信息系统、城市交通管理信息系统、房地产管理信息系统。

1.3 数字地图制图与地理信息系统的关系

数字地图制图与地理信息系统从它们的形成开始一直到发展至今，都是紧密联系在一起的，有时很难区分。它们的主要区别在于最终的目的不同：数字地图制图的目的是快速、精确地编制高质量的地图，而地理信息系统则是为地理研究和地理决策提供服务。由于目的不同，决定了它们从数据采集、处理、输出过程中的侧重点不同。

数字地图制图是利用计算机及其输入输出装置，通过数据库技术和图形数字处理方法，来进行地图制图的工作。数字地图制图的整个过程是以处理数字为主要内容，而这些数字载负了地图或地理信息的具体内容。有了完整、精确的地图数据库，才能借助于计算机的处理，提供查询、分析和评价制图信息，编成新的地图，因此地图数据库是数字地图制图的重要组成部分

地理信息系统是将区域的资源与环境数字信息，按一定的数据结构存贮到计算机中，在计算机软、硬件的支持下，实现对资源与环境信息的查询、检索、更新、综合分析评价及辅助决策应用的一套系统。在系统建立的开始阶段，必须进行数据的收集与处理。这些数据存在于各种各样的信息源之中，它们有些已是数字形式，但更多的是图形和文字。要将这些图形、文字等非数字形式的信息转变成数字形式，就要采用数字制图中数字化的方法与原理，在数字化仪上完成图形到数字的转换工作。数据库建造中，从编码到建库都必须遵循一定的数据结构，数据与数据之间形成的关系等均需应用有关数字地图制图的知识。建库后的数据管理和更新也必须借助数字地图制作原理。地理信息系统成果的图形输

出，更需要运用数字地图制图的图形输出方法。由此可知，地理信息系统从建立到应用的各个环节，都需要数字地图制图方法作为技术保证。

§2 地理信息系统的功能与软件产品

2.1 地理信息系统的基本功能

地理信息系统的功能强弱、多少和它的硬软件环境有密切关系。随着计算机科学以及与地理信息系统相关学科的不断发展，地理信息系统的功能在日益增强。

1. 数据采集与输入

地理信息系统可以通过多种多样的数据源获取数据，例如野外测量数据，运用现代定位技术（全球定位系统 GPS、惯性测量系统 ISS 等）获取的数据，摄影测量与遥感图像数据，现有的图形资料，以及统计调查的文字、数字数据等。不论地理数据信息的形式如何多样化，它大体可分两类：一类是地理基础数据或空间数据，如地形、地物的位置以及形态等；另一类是属性数据或描述数据、表格数据，如对地形、地物、土地的分类、特征表述，统计数据，社会和环境数据等。对空间数据一般采用图件数字化、扫描、使用键盘键入空间坐标、购买商业性数据调入计算机或从其他部门获得数字拷贝等，而属性数据可由键盘输入或使用计算机、磁盘中已有文件。各种数据的采集和输入模式如图 9-1 所示。

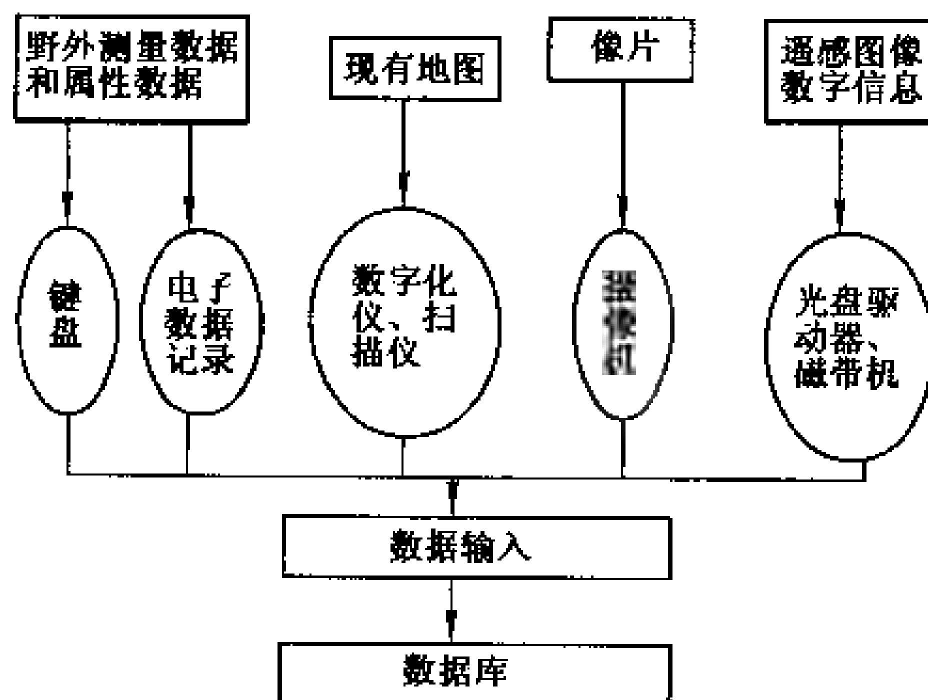


图 9-1 地理信息系统的数据采集和输入过程

GIS的数据库不仅可以提供对各种空间数据和属性数据的编辑、处理、统计、分析和评价,还可以按一定的要求绘制统计图。

2. 数据管理、分析和处理

由数据的采集与输入可以了解到,GIS的数据量是十分庞大而繁杂的。所以就需要对其进行处理分析,以获取更容易接受、更有用的数据,或者某一特定问题的解答,特殊难题的解决方案等。GIS软件系统对空间数据及属性数据都具有较强的分析、管理与处理功能。在GIS中属性数据与空间数据往往难以彼此截然分开进行分析处理。不同的软件系统所具有的功能不尽相同,但通常都具备以下主要功能:

(1) 空间数据管理　除了与属性数据有关的数据库管理系统(DBMS)功能外,对空间数据的管理技术主要包括:基础文件的建立、更新、检索、开窗、列表与显示、文件的接边、统计综合,矢量数据与栅格数据的转换等,有些GIS系统还有地图投影自动转换功能。

(2) 自动生成拓扑关系　空间概念能用几何关系和拓扑关系来度量。基本空间单元及其相关的特征是:点、线(长度、弯曲、方向)、面积(范围、周长、凹凸、连结、重叠)和体积。空间实体可定义为多个空间单元的组合,这种组合可以是相同类型实体的组合,也可以是不同类型实体的组合。以点、线、面实体的二元组合为例,空间单元具有九种不同的二元组合:点—点(点是否相邻?);点—线(点是否在线上,它们是否相邻接?);点—面(点是否在面域内?);线—点(线是否通往某城镇?);线—线(道路是否穿过河流);线—面(河流是否在面状地物内,河流是否与区域边界重合?);面—点(区域是否包含某学校?);面—线(区域是否包含铁路?)以及面—面(区域是否相接或重叠?),如图9-2所示。现在大部分的GIS系统软件都能自动生成空间数据的拓扑结构。

(3) 地图概括与地图信息提取　地图概括的内容很多,如线坐标压缩、边界消除、接边、多边形简化等。地图提取与地图概括有密切关联,目前主要的技术方式包括:计算中心点,由不规则分布的数据点生成等值线,生成近似多边形,多边形再分类等。

(4) 图幅管理及空间数据处理　同一地区而不同部门、不同时间的数据源,难免在地图的比例尺、坐标系、投影方式等方面存在差别,因此往往需要对一些原始数据作预处理。常见的处理内容和方法为改变比例尺、纠正畸偏差、转换和改变投影系等。

(5) 缓冲区生成,图像与图形的叠合与分离　缓冲区的生成与分析是根据数据库中的点、线、面实体,自动建立其周围一定宽度范围的缓冲区多边形,它们是GIS的基本空间分析功能。例如,建立一个电视塔,具有效辐射范围有多大;扩充道路,影响两边范围多大。

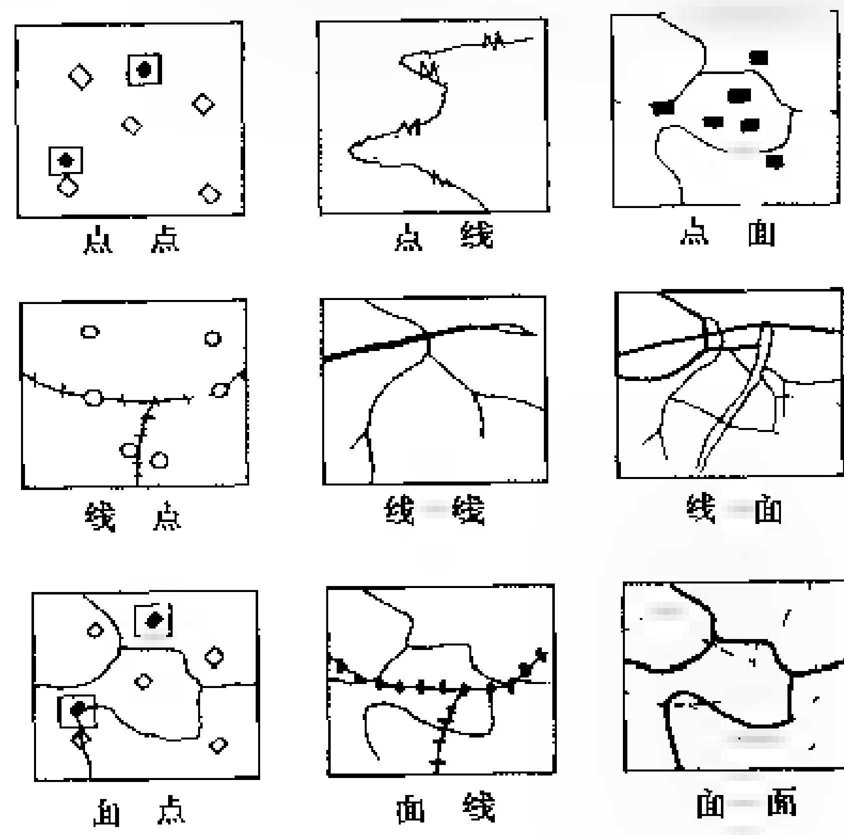


图9-2 空间单元的双元组合

叠合功能是指把一幅图作为底图(或称主图),把其他专题图与之叠合形成一幅新图。在叠合过程中属性文件也可以随之合并,描述新产生的输出图像(9-3-1)。

分离功能与叠合功能相反,分离功能可以去掉没有重合的部分,保留重合的部分(9-3-2)。

特征信息叠合是叠合功能和分离功能交叉使用,使最终图像(形)突出专题信息(9-3-3)。

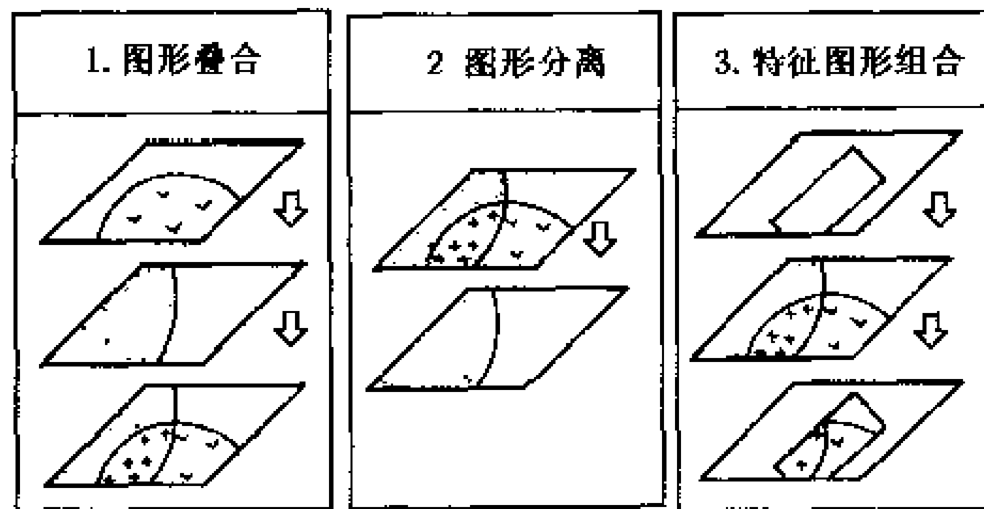


图9-3 图形(像)的重叠和分离

对不同的地理信息系统软件而言,实现图像(形)叠合和分离方式可以有所不同,但都是它们的一个基本功能

(6) 数字地形分析 众所周知,等高(值)线法很适合于表示不规则的、连续

变化的表面，但它不适用于进行数字地形分析。数字地形模型（DTM）或数字高程模型（DEM）是以数字方式表示空间起伏变化的连续表面。许多GIS都提供了构建DTM的软件包及进行地形分析的功能。数字地形分析的主要内容有：等高线的生成与分析，地形要素的计算与分析，断面图分析，三维立体显示和计算等。

（7）格网分析与量测计算 例如，格网叠加与计算，半径查找，距离计算，路径优选，多边形面积量算及容积计算等。

（8）自动制图 自动制图是GIS的主要功能之一。在GIS数据库中存储有各种空间定位数据和属性数据，如各种地形、地理、资源和环境的数据。对这些数据可及时更新、增删。制图功能模块或软件包通过图形编辑，可根据用户的需要对数字底图进行整饰，按照给定的符号、注记和颜色进行图形显示或绘图仪输出。

3．数据输出

经GIS系统处理的空间和属性数据可以通过各种设备采用多种形式输出（图9－4）。

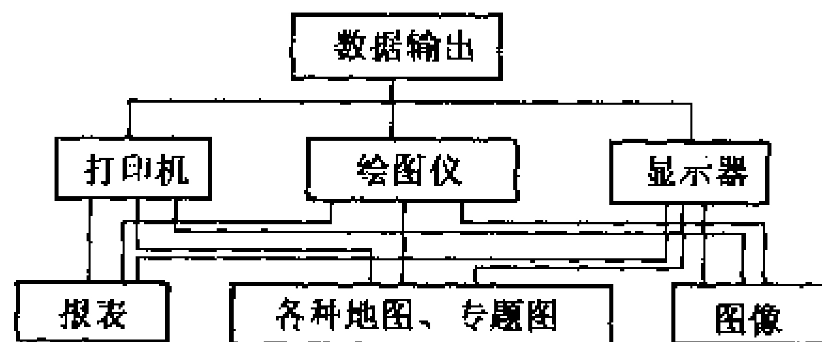


图9－4 GIS的主要输出设备与输出形式

2.2 专业型GIS软件

专业型GIS软件即指一些大型的GIS软件系统，它主要使用于专业性很强的部门，如国家土地部门、测绘部门等。其主要特点是专业性强、功能强大、可管理较庞大的数据。它对硬件平台要求较高，硬件和软件本身的价格也较昂贵。目前常见的主要有ARC/INFO、INTERGRAPH、Genamap等。

1．ARC/INFO

ARC/INFO是美国环境系统研究所（ESRI）开发的较有代表性的大型地理信息系统工具软件，可以在多种型号的微型计算机和工作站上运行，支持多种输入输出设备。它分为两个系列版本：PC－ARC/INFO版是专门为IBM PC/AT及兼容机用户开发的，工作站版是专门为工作站设计的。它们是目前我国使用较广泛的GIS软件。

(1) PC－ARC/INFO系统的软件结构 系统在功能上可分为两大部分："ARC"用于定义和管理地理要素的坐标位置和拓扑关系；"INFO"用于图形属性的关系数据库管理。系统功能的实现是通过由众多命令组成的"工具箱"(toolsbox)向用户提供不同的命令。该系统具有较强的数据输入、输出和管理分析功能，并允许用户以批处理或程序嵌入方式调用系统功能。

(2) PC－ARC/INFO制图的特点 忽略其制作地图的具体操作与步骤，其基本过程可抽象为如图(9－5)模式：

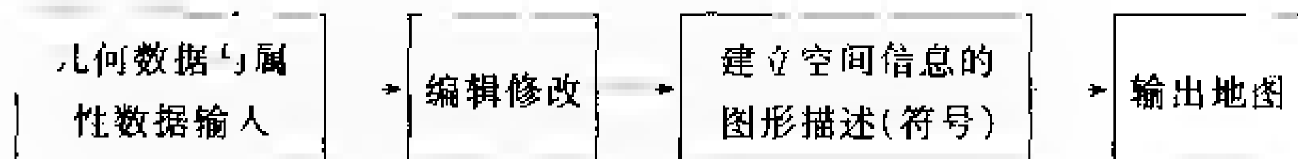


图9－5 PC－ARC/INFO制图模式

这也是一般GIS和某些数字地图制图系统制图的模式。它们的共同特点是：先输入空间实体的位置和特征属性信息，然后对属性信息用符号(形状、尺寸、颜色等)表示，用命令对图面的配置进行定义，以可视的形式表现出来。几何数据再将这种可视化的属性信息定位。

(3) ARC/INFO制图模式的优点

① 易于派生新图和更新地图：ARC/INFO用属性码、坐标与空间关系来描述存贮对象、面向空间实体。它不规定用什么符号系统来具体表示，因而它存储的数据是独立于制图表示方法的。这种信息的存贮与它们在介质上的可视符号表示分开的方法，提高了数据的检索与图形表示的灵活性。借助于符号库、颜色库、线型库、汉字库等，就可随时生成满足某种需要的地图。

ARC/INFO对几何数据和属性数据实行分别组织与管理，二者通过公共数据项(内部码和用户标识码)联接，这种方式兼顾了几何数据与属性数据的不同特点，有效地实现了两类数据的联合操作、处理和管理。

编制新图首先需要通过各种空间数据分析与处理方法，提取和派生出新的信息；更新地图也首先需要更新图形库与属性库中的数据。ARC/INFO这种描述存贮对象和对空间数据管理的方法，才使得派生专题图和更新地图变得容易。

② 便于快速、多样地确定地图的表现形式：ARC/INFO存贮的信息与其可视化符号分开，二者通过查找表(Look Up Table)联系。查找表是一种特殊的数据文件，它至少包含两项：一是与特征属性表中的某项相同，它的值可以作为查找表中的关键字；另一项为符号(Symbol)项，与属性码对应。使用查找表有如下优点：可以用任何适当的符号来反映属性特征，即对不同的属性采用不同的符号，从而快速确定地图内容的表示方法。它很容易或者只改变符号代码，就可制作出不同风格和特色的地图；可以减少数据的存贮量。在查找表中，同一类的属性

值只存贮一次符号码,而不是对属性表中的每一个记录都赋予符号码。查找表的作用如同地图中的图例,它是整个制图区域所有符号的归纳与说明,图例的符号决定了整个制图区域内的同类属性符号。

ARC/INFO 具有强大的制图功能(但其操作过于复杂与繁琐不能算作优点)。“所见即所得”(What You See Is What You Get——WYSIWYG)是数字地图制图系统追求的目标。它不仅仅体现在颜色上,即设计人员设色—屏幕颜色—输出地图颜色的一致性上,而且应该体现在符号的显示与图面配置上的 WYSIWYG。制图者面对计算机屏幕应该像面对模拟地图一样,屏幕显示的地图就是最终输出地图的式样。只有这样,制图者才能集中精力致力于提高地图的科学性与艺术性上。

(4) ARC/INFO 在制图中存在的问题

① 没有交互式图面配置设计功能:地图图面配置尚需制图者预先在图纸上设计,在计算机中用命令定义图名、图例等的位置,这大大限制了制图者创造才能的发挥。图面配置直接关系到地图的外观质量,如同高楼大厦的设计蓝图,需反复推敲、设计,才能确定。ARC/INFO 命令式定义的方法与计算机制图的高速度不相适应,而且不直观,不易记忆。

② 编辑状态与制图状态的分离:编辑状态是指各类图元脱离符号表示的一种状态。此时屏幕上显示的点状或线状符号等,实际上仅反映了制图要素的空间位置、形状和关系,其属性要素以数字或字符的形式反映;制图状态是指属性数据也以直观的、最终输出时的图解形式表现出来,即用符号、线型、颜色、晕线、图案等表现全部的制图要素,是地图输出前的状态。ARC/INFO 描述存贮数据的方法,使得编辑状态与制图状态分离。编辑状态表示的是单一线型的单色地图;制图状态表示的是多种符号类型的彩色地图。地图的基本特性之一就是采用符号表示并具有直观性。不同特征的空间要素用符号、颜色表示,可以提高地图的表现能力,增强分类分级概念,容易发现数据的错误。ARC/INFO 的编辑状态与制图状态分离,使某些在制图状态下发现的问题,必须返回编辑状态下修改,而且有时难以迅速找到准确的位置。使得单一工作流程出现多次反复,降低了工作效率,给制图者带来诸多不变。

(5) 强大的空间分析功能 ARC/INFO 的查询、分析功能很强,被引入许多领域用于辅助决策。例如:大气污染研究、土地利用规划、交通分析、自然资源规划、土地记录管理、应急反应等。较常用的分析功能有空间数据与属性数据的双向查询、缓冲区建立、多边形(拓扑)叠加等。

2. Intergraph

Intergraph 公司是全球最大的生产交互式图形计算机系统的公司之一。MGE (Modular GIS Environment)模块化的 GIS 环境,是 Intergraph 典型的 GIS 一体化应

用产品，它提供了丰富的地理信息分析工具，能将复杂抽象的GIS概念转化为明确的结果，特别是在整个工作流程中的地理数据共享和分析方面，MGE的分析产品表现了出色的能力。作为大型的GIS系统软件，MGE以其独特的模块化结构，强大的空间数据管理、分析及制图功能，在国际上非常流行。目前，国内也有许多单位及大中城市都相继采用MGE作为GIS工程的开发平台。

(1) MGE软件的基本结构　MGE是一个模块化的集成环境，它在Microstation图形环境下，根据不同的应用及不同的功能，提供了几十个模块，但最基本模块只有三个：核心模块MGNUC、基本管理模块MGAD、基本图形模块MGMAP，利用它可以完成GIS的项目管理、图形数据录入、图形数据编辑、数据库的建立与查询、坐标系统的定义及制图输出等。

MGNUC是MGE家族中所有软件产品的基础，它提供GIS制图应用的基本平台，其基本功能包括项目管理、数据的再现、查询以及投影坐标系统的应用，能支持单机/网络上的运行方式，图形数据能支持AutoCAD(DXF或DWG)和Microstation(dgn)图形文件，并支持SDTS标准；MGAD提供单机/网络上用户的MGE系统和数据库的管理工具，能进行数据库表的定义和表间操作，对数据库的操作是通过RIS模块来实现的；MGMAP提供对数据的采集、操作以及归整处理，可以同时进行交互式和批处理，其功能包括数据采集，线性数据的清除整理，数据库的交互式查询、编辑，GIS图形特征的建立和符号定义，能进行面积、周长、长度以及坐标的计算等。

(2) MGE的扩展结构

制图分析　图形的整饰和输出主要由MGFN(MGE Map Finisher)和MAPPUB(MGE MAP Publisher)两个模块(系统)完成。MGFN主要用于地图的整饰及制图符号的定义，多种图的合成，图形的裁剪、拼接，加网格、边框、注记和图例等，对地物进行颜色、符号填充、优化处理等，使输出的图形逼真、优美。MAPPUB是地图制版系统，包括一台Intergraph的扫描/胶片记录仪。该系统可将地图/影像图形进行分色，合成输出到胶片记录仪上，记录在正片或负片上的分色胶片可直接印刷。

拓扑空间分析模块MGA　需要作拓扑分析时，在MGE基本模块的基础上，利用MGE Analyst(MGA)模块就可完成这一工作。其功能包括：拓扑结构的生成，缓冲区生成，空间图形及数据库的查询、分析、逻辑和空间关系操作，报表和图形输出，计算长度和面积，利用查询结果生成新的图形文件，进行多边形之间的拼接和融合等。

另外MGE还提供了线性网络分析模块MGNA和MGSM、地形模型分析模块MGM和MTA、栅格分析模块MGGA、地下三维分析模块MGVA、图像处理与分析模块MBI和MAI、数据交换模块MGAL。

MGE虽然功能较强大，特别是在分析、制图等方面有一定特色。但模块划分得较多、又细，使用时比较麻烦，特别是对话框太多，各项参数设置较繁琐，往往让人无从下手。

3 GENAMAP

GENAMAP是澳大利亚GENASYS II公司开发的GIS软件产品，它基于UNIX、WINDOWS操作系统。它的功能强，具有较好的一致性、开放性和易操作性。主要应用于自然资源清查和管理、地质勘测、城市规划和管理、环境监测和管理、交通管理，以及社会经济分析和管理等许多方面。

该系统共由十个模块组成，其中Genamap既是一个独立的GIS系统软件，也是整个系统中的核心模块。它包含有空间型关系数据库，用于坐标存贮、空间图形管理、映射变换、检索查询和图形显示。该数据库可自动建立库中每一层图内点、线、面以及各层图之间的拓扑逻辑关系，实现库内图形连续式的无接缝完整图形。通过各图形与属性数据库中的属性数据建立关系，可生成动态空间图形视图。其关系型属性数据库(Attribute)用作属性数据管理，以及与各图层形建立相关关系。其图示图例符号库用于存贮和管理各类专用符号、图形，用户还可自造符号。各种图形编辑工具可用于数字化、校正、修改、拼接和更新各类图形。此外，还有多种空间分析工具，如网络分析、叠加分析、缓冲区分析、重新赋值分类分析、相邻分析等。使用其过程化程序设计语言Script，可将GENAMAP系统中十个模块的所有功能组合成一个可执行程序，以满足各种需求。

Genaref是Genamap与其他GIS或图形软件系统交换数据时，对图形数据进行格式转换处理的接口；Genacomm是Genamap与各类关系型数据库的接口；Genius是Genamap提供用户屏幕菜单生成和管理功能的模块；Genacarto是一个具有图形用户界面的综合制图工具模块；Genavive能提供仿真图像显示环境；Genacell是栅格图形数据处理、管理和分析的模块；Genacivil为土木工程设计和测绘模块；Genarave既可与Genamap构成完整的系统，也可在UNIX、Windows平台上独立使用，是一个图形自动矢量化模块，它有许多功能特点，例如细化图形线、等高线自动生成，点、线拓扑关系生成，线形识别，地图定位管理等。

2.3 大众化桌面GIS软件

地理信息系统经过三十多年的发展，到20世纪80年代后期已经具有很高的水平，被广泛应用到各专业部门。但同时，它对计算机硬件环境要求很高，操作相当复杂，对用户的专业水平要求也很高，这些因素使得地理信息系统只能在一些特定的领域、特定的用户群中使用，而不易被大众所接受。实际上，大量的普通用户对地理信息系统是有需求的，只是它们不需要那么强的空间分析和空

间计算功能，而是需要操作简单，价格便宜的系统。大众化桌面地理信息系统，如 ARCVIEW、MapInfo、MapGIS、GeoStar 等正是在这种需求背景下应运而生，并得到了迅速的发展。

桌面 GIS 系统是地理信息系统的一个小型应用平台，或是一个子集。桌面地理信息系统与专业地理信息系统的主要区别在于空间分析能力较弱。桌面 GIS 包含了地理信息系统的一些重要功能，如空间信息与属性信息的有机结合、地图与各种专题图的显示、空间查询等。

1. ARCVIEW

ARCVIEW 是 ESRI 为适应大众化而推出的集空间图形、关系数据库、统计图形、空间分析、网络通讯、面向对象的程序设计于一体的桌面地理信息系统，它的图形用户界面直观，借助鼠标器即可完成许多 GIS 任务。从而弥补了 ARC/INFO 操作复杂、对硬件要求高以及价格等方面的问题。

(1) 软件结构　ARCVIEW 以工程(Project)为基本应用单元。它由多种文件模块组成：Views，地图显示、信息查询、空间分析；Tables，数据库管理、电子表格；Charts，统计图形制作；Layouts，组合设计，地图制作；Scripts(Avenue)，面向对象的程序设计、调制、开发工具。各文件之间为动态联接，即任一文件的信息被操作或改动，其余的都自动更新，以反映其结果。每一种文件都有其相应的图形用户界面，包括菜单、按钮、工具条，并且它们都是可编辑的。

(2) 基本功能

图形显示和信息查询功能：它可按任一属性项分级显示，分级的方式有等距、等样本数和自定义方式。并可用随机、过渡或自定义方式为每一级指定合适的颜色、线性等；可做线性拉伸、等积拉伸、灰度显示、假彩色制作和颜色表定义等功能；有单波段显示，多波段彩色合成，透明与不透明两种叠加方式；可交互式加入注记，也可把任一属性项的全部或部分注记到图上；支持空间查询，逻辑查询，查询结果在 View 和 Table 中显示，在 Chart 中自动生成统计图。

投影变换功能：它支持 10 多种投影变换。只要有一个 VIEW 的长度单位(Unit)、投影方式、参数(经纬线等)改变，即能以新的投影方式显示出来，而无需对原始数据做投影转换。

地图概括功能：它能较好地解决地图比例尺与信息容载量问题，能指定任一主题显示的比例范围，使图形随放大而详细，随缩小而概括，以保持地图的清晰性和逻辑性。

热连接：所谓热连接就是把某一要素和某种图像、文本文件、工程文件、工程或 Avenue 程序连接起来，当鼠标点中该要素时立即显示这些数据或执行某个程序。

**数据建立、增删、修改、派生、电子表格形式显示、字段选择，支持假名等功

能：可进行一对一、一对多、多对一、多对多的数据库联结，支持复合条件查询。可对多个字段进行多种统计，计算平均值、求和、最小值、最大值、标准差、极差等，并以表格形式表示。具有动态连接能力，数据库操作结果瞬时改变，并显示在 View，Chart，Layout 上。

直观、动态的统计图表示功能：它提供了独立值、范围值、等级符号、点密度、柱状图、饼图等六类统计图。

其他还有地图图面配置及基本的空间分析功能，如叠加、缓冲区、临近分析等。

2. MAPGIS

MAPGIS 是由中国地质大学（武汉）信息工程学院科研人员，经过十多年的艰苦努力，在反复研究国外有关数字制图和 GIS 软件的基础上，结合我国实际情况，成功开发出的一套完整、实用的地理信息系统软件。该软件被国内越来越多的制图和用图单位公认，现已投入市场，并具商品化规模，是目前我国优秀的 GIS 软件系统之一。

MAPGIS 由三部分组成：MAPGIS 微机彩色地图编辑出版系统、MAP 库管理系统、空间分析系统。

(1) MAPGIS 微机彩色地图编辑出版系统（前身即 MAPCAD） 基本软件系统包括有：图形输入、图形编辑处理、拓扑处理、系统服务库、综合图形处理及图形输出等子系统；还有一些可选软件系统如智能扫描矢量化、数据接口转换、分色光栅处理、POSTSCRIPT 高精度输出处理、辅助教学、地图库管理及动态属性库定义等子系统。

MAPGIS 微机彩色地图编辑出版系统的特点及功能主要有以下几个方面：

① 用户界面良好，操作容易，使用方便。

② 有多种输入手段：数字化仪、扫描矢量化和 GPS 数据输入，还可接受 DBASE、FOXBASE 等数据库的数据，具有完备的对错误及误差的修正方法。

③ 具有直观实用的图形编辑处理功能，这是 MAPCAD 最重要、最具有特色的功能，它能编辑修改、增加、删除矢量结构的点、线、区域的空间位置及其图形属性，并适时自动校正拓扑关系从而使输入的图形更精确、更丰富、更美观。

④ 具有自动拓扑处理功能，能对图形中的位置结构建立拓扑关系，可由全自动、半自动和手动三种方式配合使用。

⑤ 丰富的系统库服务功能，提供了子图库、填充图案库、线型库、矢量字库和色谱库的编辑功能。

⑥ 综合图形处理功能：提供在地图制图中地图数学基础的自动建立，常用的一些专业基础图件的自动建立、计算及对任意边界的剪裁功能。

⑦ 输出子系统：MAPCAD 输出系统是 MAPCAD 的主要输出手段，它读取经

过编辑处理后的图形输出数据，进行版面编辑处理和排版，进行图形的整饰，最终形成各种格式的图形文件，并驱动各种输出设备，完成数字制图任务

(2) MAP库管理系统　MAPGIS数据库管理系统是一个数据量大、管理方便、检索灵活高效、便于分析和输出的数据库管理系统，它包括图形数据库和专业属性库两个管理系统。

MAPGIS图形数据库管理系统是MAPGIS的重要组成部分。主要功能有：①图幅操作功能：系统提供了接图表的显示，图幅的输入、修改、删除、查询，底图的模拟显示，图幅复位显示，图幅开窗显示，图幅缩小显示及图幅更新显示。②图幅接边功能：提供了选择接边图图幅，确定接边条、图形视窗、图边编辑、全自动接边、半自动接边、保存接边条、消除接边条等功能。系统能自动消除接合误差，既精确快速，又方便自然，可称无缝数据库。③信息查询和图幅检索功能：提供了经纬查询、日期查询、标识查询和条件查询功能，用户根据需要可随时选择任何一种方式进行操作。图幅检索提供了空间条件检索、库类检索、图形属性检索和综合条件检索，用户利用这些功能可将所需要的图形及属性数据从图库中提取出来。

MAPGIS专业属性数据库管理系统专门用于定义矢量数据的属性结构，并且进行可视化编辑，它还提供了强有力的多媒体属性库创建、编辑工具。

(3) 空间分析系统　MAPGIS与MAPCAD的重要区别就是它具备对空间数据与非空间数据进行分析和查询的功能，它包括了矢量空间分析和图像分析系统。

MAPGIS矢量空间分析系统是MAPGIS最重要的组成部分，它通过空间叠加分析方法，属性分析方法，数据查询检索来实现GIS对地理数据的分析和查询。MAPGIS图像分析系统提供了处理和分析图像数据的能力，实现了MAPGIS对遥感影像、航片影像及各种专业图像等的处理和分析方法。

3. 吉奥之星(Geostar)

吉奥之星GIS软件系统是由武汉测绘科技大学地理信息系统研究中心研制开发，并于1996年正式推出。该软件系统是基于矢量栅格一体化的数据结构和面向对象的数据模型，采用面向对象的空间数据库设计原理和面向对象的系统分析与设计方法。

吉奥之星具有图形数据与属性数据结合紧密，GIS与遥感图像处理系统一体化性能较好的优点，体现了整体空间信息系统的特征。

4. 方正智绘

方正智绘是北大方正技术研究院、北大方正出版系统工程公司研制的一个适用于地理数据采集、加工、出版、交换、管理与分析的地理信息处理软件。它可以广泛地应用于地理、土地、规划、水利、交通、石油、测绘、煤炭、铁道、地质、矿产

等部门的地理数据及地理相关数据的采集与处理部门 它稳定而精确的地图打印与出版功能优于国外 GIS 软件，尤其可以满足对输出质量有更高要求的用户。

§3 GIS 的空间分析

空间分析是地理信息系统区别于一般空间数据库的关键所在。通过空间分析可以揭示数据库中数据所包含的更深刻、更内在的规律和特征 空间分析就是基于地理对象的位置和形态特征的一种空间数据分析技术，其目的在于提取和传输空间信息，并且这种技术也提供了提取和传输信息的能力 这种能力使得其可以对空间数据进行深加工，向用户提供他们所需要的结果或回答他们所提出的问题。因此，空间分析是地理信息系统的核心。在 GIS 中具有的空间分析功能较多，也较复杂，包括几何形态分析、包含分析、网络分析、地形分析等。下面按时空特点分别介绍几种常用的分析方法：

3.1 GIS 二维分析

二维分析，是指在二维空间中几何特征的分析，如空间量度，以及基于空间量度分析的缓冲区分析、包含分析、空间距离结合空间连通性的网络分析等

1. 空间量度

在二维地图中地理基本要素(点、线、多边形)本身具有的空间特征，在空间量度的概念上表现为：

(1) 点的大小 从图形的意义来说，点并没有大小之分，但是在地图学中，地图上的每一个点并不是单纯的点的意义，而是具有一定的地理和人文要素的意义的实体点，它有相当多的属性信息与之关联，在 GIS 的空间分析中需要、也能读出它的大小。

(2) 线的长度 线状地物要素的长度是最基本的空间量度参数之一。线状要素的长度在地图意义上来说，可以表示道路、河流、海岸线的长度等。手工制图时，量算线状要素的长度十分繁琐，但是在 GIS 的支持下，用计算机完成就变得简单和方便。对于 GIS 中不同的空间数据类型，所采用的计算方法也不同，对于矢量方式的空间数据，GIS 中就采用简单的笛卡尔坐标系中两点间的距离算法逐步算出相邻两点间的距离，然后逐个相加得到整条线的长度，最后通过数据库中的坐标体系与用户坐标体系的换算关系换算出真正的用户坐标体系中的长度。

(3) 多边形的周长 在线的长度部分其实已经包括了多边形的长度，只是

多边形的周长在地理意义上具有不同的含义。在地理意义中，多边形的周长不再是简单的一个线状要素的长度，而代表了一个面状地物与外界的接触度，周长越长，表明与外界越开放，接触度越高

(4) 多边形的面积　面积是多边形的一个基本参数，地理意义上表示地物的分布范围。在GIS中对于矢量方式的数据，采用的计算方法很多，常用的方法有两种：一种是针对形状不太复杂的多边形，可以把它分解成几个最基本、最简单的图形，分别计算出其面积，最后相加；另一种就是不能简单分解的复杂图形，多边形轮廓线的节点很多，这样的多边形可以利用积分的办法，以一条坐标轴为基准，分别作轮廓线上节点到这条坐标轴的垂线，垂线、节点及坐标轴共同组成一个梯形，然后计算远离坐标轴的轮廓线与坐标轴组成梯形的面积和靠近坐标轴的轮廓线与坐标轴组成的面积的面积差，这个差值就是两条轮廓线之间的面积(如图9-6)。

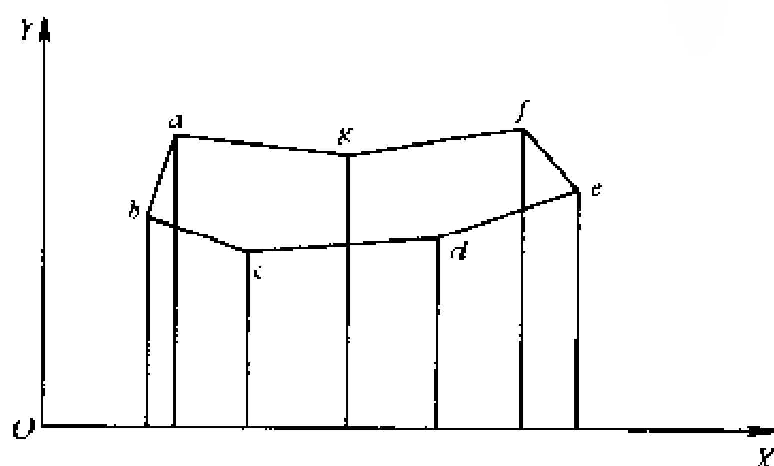


图9-6　多边形面积量算方法示意

空间量度在二维地图中地理基本要素(点、线、多边形)之间的关系表现为：

① 点到点的距离　这里讲的是简单形态上的点到点的距离，没有具体的地理意义，可以简单地表示为笛卡尔坐标系中两点间的距离。但是在GIS中这样的距离并没有多大的实际意义，因为在实际地理要素中，点往往代表着城市、车站等沿线状要素分布的离散点，只有部分的自然要素(如火山等)和很少量的人文要素(如机场、港口等)具有直线的对外影响路径，在作空间分析时，可以利用这样的点到点的距离概念。更多的是具有网络连通性的点到点的距离分析，这将在稍后的网络分析中阐述。

② 点到线的最短距离　在地理基本要素的定义中，线可以看作是点的集合，所以点到线的最短距离可以理解为，在点的集合中寻找一个点，其中这个点必须是所有这些点中与集合外点的距离是最短的。这样的距离计算在GIS分析的具体规划应用中十分有用

③ 点到多边形的边的最短距离　同点到线的距离一样，多边形的边就是一条线，也可以看成是连续点的集合，所以点到多边形的边的最短距离，就是在点

的集合中寻找其中一个点，要求这个点是在所有点中到集合外的一个点的距离是最短的。

④ 线与线的最短距离 线到线的距离则可以看成是两个点集合中，任意成员的组合，求其中距离最短的一组组合，这一组组合中的两个点之间的距离就是线状要素之间的最短距离。

2. 缓冲区分析

缓冲区(Buffer)分析，就是根据地理要素中的点、线、多边形等实体，在实体的周围或内部建立一定宽度范围的缓冲多边形，这是GIS空间分析功能的基本功能之一。在图形上来理解就是：点的缓冲区就是所有到点的距离在一定范围 R 之内的点的集合；线的缓冲区就是所有到线的最短距离在一定范围 R 之内的点的集合；多边形的缓冲其实质就是作多边形轮廓线的缓冲区，即所有到多边形轮廓线的距离在一定范围 R 之内的点的集合，其中相向一面的缓冲区称向内缓冲，相背一面的缓冲区称向外缓冲(如图9-7)。

缓冲区分析中缓冲区的计算虽然简单，其基本问题就是平行线的问题，归结到图形上来说就是求最短距离的简单计算，但在具体操作时还需要特别注意几个问题：

(1) 线状要素作缓冲时，内外角连接的问题 在作缓冲区处理内外角连接时，往往处理成内角直接用平行线交叉连接，外角则用圆弧来连接，到了线段的断点则同样用圆弧即半圆来封闭，这样在处理和理解上，既运用了简单的原理又符合缓冲区的定义。

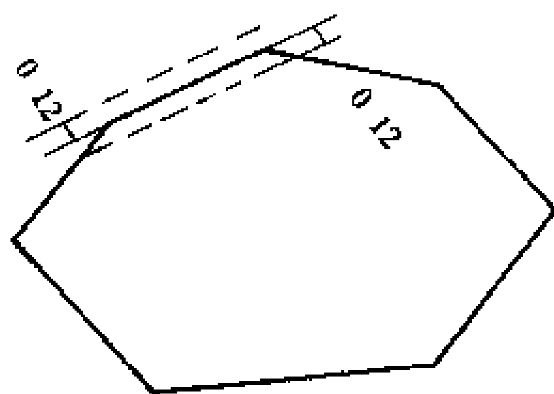


图9-7 多边形缓冲区向内缓冲、向外缓冲示意

(2) 缓冲区发生重叠时的处理 缓冲区的重叠包括多个特征缓冲区之间的重叠以及同一特征缓冲区图形的重叠。对于前者，首先通过拓扑分析的方法，自动地识别出落在某个缓冲区内部的那些线段或弧段，然后删除这些线段或弧段，得到处理后的连通缓冲区；对于后者，可通过缓冲区边界曲线逐条线段求交，如果有交点并且在该两条线段上，则记录该交点，从此点截断曲线，而曲线的其余部分是否保留则应看它位于重叠区内还是重叠区外，若位于区内则删除，区外则记录。

(3) 特征要求缓冲区宽度不同时的处理 在进行缓冲区分析时，经常发生不同级别的同一类要素具有不同的缓冲区大小。例如，道路的表示，在数据库中存有道路的中心线，由道路的中心线产生缓冲区，这要与道路的等级有关。建立缓冲区时，首先要建立道路等级的属性数据表，根据道路的等级确定不同的缓冲区宽度，然后生成缓冲区。

3. 包含分析

包含分析主要是指点、线、多边形之间的关系分析。如确定某区域内行政单位的个数，这是点与多边形之间的包含关系分析(Point in-Polygon)；再如确定某行政区域内的高速公路的长度，这是线与多边形之间的包含关系分析(Line in Polygon)。在分析时，首先将一组数字化并带有标号的点进行分析，然后把这些点与多边形进行叠加分析，判断点是否在多边形内，同时对落在各个区域内的点自动计数或归属判别。其中，判别是否在多边形内部，可以利用铅垂线算法来判别，具体的原理及步骤如下：

如图9-8，研究区域内有一多边形 $F=(n_1,n_2,\cdots n_n)$，结点 $n_i=(x_i,y_i)$，$i=1,2,\cdots n$；$n_n=n_1$。研究区内的一个点状要素 $P_t=(x_t,y_t)$。要判断点 P_t 是否在多边形 F 内部，由点 P_t 作一条垂线 R，首先计算点 P_t 到多边形轮廓线的最短距离，如最短距离为0，则说明点 P_t 在多边形边界上；如最短距离不等于0，再计算垂线 R 与多边形轮廓线的交点个数，利用交点数的各种情况则可以判断点与多边形的关系。

判断线段与多边形的关系，可以把线段分解成点，用相同的算法处理，需要进行线段与多边形边界交点坐标的计算，在交点处截断线段，选取其中在多边形内部的结点和交点之间的部分作为分析对象。

4. 网络分析

网络是一系列相互连接且具有方向性的弧段，形成物质、信息流通的通道。如城市地下排水管线中的水流具有一定的流向，城市道路网中遵循一定的交通规则而形成的车流等。网络分析的主要用途就是：选择最佳路径；选择最佳布局中心的位置。所谓最佳路径是指从一点到另一点的最短距离或花费最少的路线，这里的最短距离与前面所讲的点到点的距离不同，从其中一点，经过若干具有可通性、并且需花费某种开销的弧段，最终到达另一点时，使得花费最少，这样的一条路径才是这里所讲的最佳路径。所谓最佳布局中心是指中心所覆盖范围内的任一点到中心的距离最近或花费最少。

网络由如下一些基本要素组成(如图9-9)：

(1) 结点　网络中任意两条弧段的交点。

(2) 连通路线或链　连结两个结点的弧段要素，是网络中物质流、信息流的通道，与结点一起，构成了网络中的最基本要素。链间的相互联系在GIS中表示为空间数据的拓扑结构，在空间数据的拓扑结构中，线段有两个结点，并且线段具有一定的方向性。

(3) 中心　网络线路中具有接收或发送物质流、信息流的结点点位，如自来水管线中的自来水厂的供水水源、用户的水龙头等。

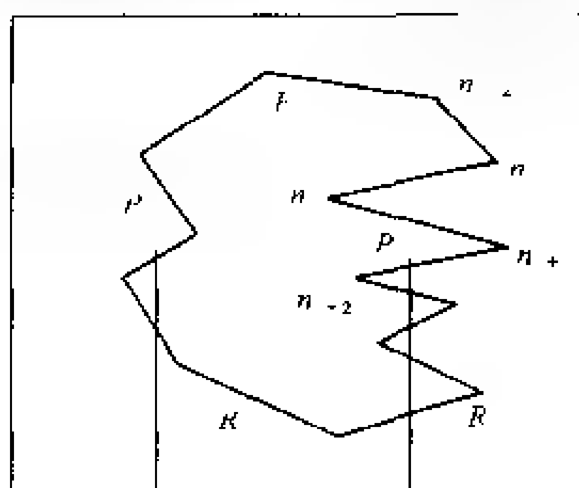


图9 8 包含分析

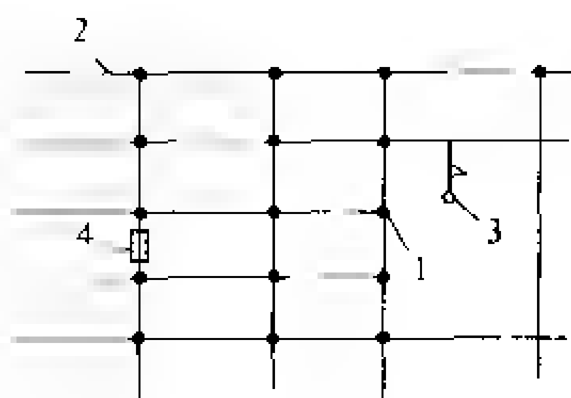


图9 9 网络的基本要素
1 结点，2 链或连通路线，3 中心，4 障碍

(4) 障碍 在网络中，障碍实际上在连通路线的连通性中就已经表述，从 A 到 B 不具有连通性，那么从 A 到 B 就意味有障碍；从 B 到 A 具有连通性，意味从 B 到 A 没有障碍。

在这些属性中，有三个重要的概念：

① 开销 开销就是指在网络中为完成从一个结点到达另一个结点所需要付出的花费。例如，在GIS中分析中，在查找最短路径时，每条弧段均被看成是无长度的连接，往往把弧段的距离当作其中的一个花费开销，如考虑再复杂一点，运输单价与路程的乘积作为花费开销则更加符合实际。在分析中如果一条弧段从其中的一个结点 A 到另一个结点 B 不具有连通性，则可以认为在结点 A 和 B 之间的开销趋向了无穷大。

② 资源需求 资源需求是指网络中与连通路线或链、中心等相联系的资源数量。如在城市自来水管线网络中每个用户的用水需求、电力管线网络中的电力需求等。

③ 资源容量 资源容量是指网络中的各连通路线或弧段为满足各中心的需求，能够容纳或允许通过的资源量。如道路网络中某条道路在单位时间内能通过的车流量等。

3.2 GIS三维分析

数字高程模型其实也是定义在二维区域上的一个有限项的向量序列，以离散分布的平面点来模拟连续地形地貌的分布或其他地理现象的分布。在三维分析中主要指利用数字高程模型(Digital Elevation Model，简称DEM)进行的一系列与高程相关的分析，如以数字高程模型为基础进行数字地面模型的建立和分析、坡度分析、坡向分析、地形剖面及流域或流水分析等，为各种地学分析、工程设计

和辅助决策提供重要的基础性数据，有着广泛的应用领域

1. 数字地形模型的生成

数字地形模型是以离散分布的平面点来模拟连续分布的地形。按平面上等间距规则采样或内插所建立的数字地形模型，是基于栅格数据的。为建立这样的数字地形模型，必须获取高程数据并输入计算机。其方法有人工量取和半自动化二种。人工方法是用薄膜方格网板覆盖在地形图上，根据事先确定的采样点密度，逐点读取高程数据，再由操作员键入计算机。这是早期在设备不够的情况下采用的。这种方法受作业员的技术熟练程度影响较大，工作量大，但设备要求低。也可用手扶数字化仪逐条跟踪地形图首曲线，再用内插方法计算网格高程，工作量也相当大。半自动的方法是重新转绘地形图，去掉注记，并对新转绘的地形图扫描、输入等高线，然后细化等高线，给等高线赋高程值，插值计算网格高程值，就可形成数字地形模型。

2. 坡度分析

坡度分析是根据数字高程模型中，每个像元四个角点的三维坐标，构造一个逼近四个空间点的小平面，计算出该小平面法向量和垂直向量之间的夹角，即小平面与水平面的夹角，即为坡度，将小平面坡度进行分级，便可构造成一个该数字高程模型覆盖区域的坡度图。

3. 坡向分析

坡向分析是将坡度分析中，计算出的小平面法向量向水平面上投影，该投影与 x 轴正向之间的夹角(按逆时针方向计算)定义为坡向。将每个小平面的坡向分级便可产生坡向图。

4. 地形剖面分析

地形剖面的绘制和分析是以数字地形模型为基础，构造某一方向的剖面，从而以线代面概括研究区域的地势、地质和水文特征等。如果在地形剖面上叠加其他地理变量，如坡度、土壤类型、植被覆盖类型等，可为土壤侵蚀速率研究、农业生产布局立体背景分析、土地利用规划等提供科学依据。

5. 其他

数字地形模型还可进行曲面的表面积计算，地面粗糙度计算，平均高程和相对高程计算，淹没边界的计算和水库库容计算以及土石方量算等。

3.3 GIS 四维分析

时间和空间都是客观事物存在的基本形式，因此空间数据被记录下来的时候，实质上只是记录下其中时间序列中的某一个时间段甚至是时间点的空间形态、属性的数据。

地理空间信息和非空间信息的记录，在数学语言中被描述为：时间 t 可以在有界区间 $[a,b]$ 内取值，如果对于每个 t 值有一个随机变量 $\xi(t)$，称 $\xi(t)$ 为随机过程。对随机过程 $\xi(t)$ 的一次全过程的实测，即当 t 取离散点 $t_1,t_2,t_3,\cdots,t_n,\cdots$，时，得到的一个随机过程 $\xi(t_i)$，$i=1,2,3,\cdots$，这样的一个随机过程成为时间序列

地理事物这样的序列变量随时间的变化，可能是稳定上升或稳定下降，也可能是明显而强烈的周期或随机波动。所以时间序列变量可以分为三种类型：整体或长时间的趋势；周期波动；随机波动。在GIS分析中时间序列变量类型中，前两种类型占有绝大多数，所以在四维分析中主要也就是指趋势分析，在自然现象中有自动补偿的稳定过程分析等，社会人文现象中有城市规模发展趋势分析等。现阶段在四维GIS中，数据库的建立正处于试验阶段，各家的建库方法各有差异，但是进行分析的思路基本上是一致的。所以，在这里只简单地以具体例子讲述其思路方法，不作数据库建库、分析算法等方面的探讨。

1 自动补偿的稳定过程分析

在自然界中，有很多现象在运动过程中的发展变化是具有自动的调整或自动补偿平衡功能的，也就是说其发展过程是有一定规律的，并不是随机性的波动，根据一定的史料和现实资料，可以对今后的发展趋势作出判断，从而指导人们的生产行为。如地质构造运动、海岸线和湖岸线的变迁、河床的迁移、三角洲面积的变化、沙洲岛屿的发育变化等，在建立不同时期的数据库之后，均可以进行趋势分析，查找原因，制定对策。

2. 城市规模发展趋势分析

城市是社会发展到一定阶段才出现的，是时间的产物，所以在历史的各个阶段，城市的发展受到不同时期因素的影响，在城市形态等各方面具有不同的特点。通过时间序列中连续截面的研究分析可以预测将来的发展。以城市的空间形态来看，在城市区域里，可以把城市看作是一个具有一定面积和周长的多边形，与城市所处的区域自然条件、地理区位、经济发展过程联系起来分析，可以查明城市用地的合理性及存在问题，预测城市的发展趋势，分析结果可以直接指导城市的建设和规划。

§4 GIS应用与地图分析

4.1 GIS应用对地图的作用

地理信息系统是在地图数据库基础上发展起来的多维信息系统。地图是地理信息系统的基础信息源。地理信息系统的发展离不开地图，而地理信息系统技术的应用，促进了地图学和地图制图的许多传统观念和做法的改变，使地图学正面临着从概念设计、工艺程序到实际应用的根本性革命，主要表现在以下几方面：

(1) 解决了地图数据的存贮和可视化的矛盾　地图具有存贮和显示地理信息的功能。迅速增长的大量信息，对传统制图者来说最大的困难是怎样在有限的幅面上呈现庞大的信息，从可视的角度看，任何图上小于0.1 mm的特征，都将被忽略。地理信息系统将地图的两大基本功能分开，使地图只需承担地理信息的显示功能，而不必同时扮演信息存贮的媒体角色。因为地理信息系统的数据库可以存贮巨大容量的地理信息，而且可以根据需要制作各种比例尺的、各种要素的地图。存放在光盘中的电子地图集，可以按任意比例在屏幕上显示出来，这不能不说是地图发展的质的飞跃。

(2) 解决了大容量数据与高速查询之间的矛盾　传统制图不能快速产生为解决特殊问题的特种地图，如怎样获得救火车从消防站到火灾发生点的最佳路线等，而地理信息系统通过提供巨大的灵活性和先进技术，可以及时显示或制作满足特殊需要的地图，这只有在与地理信息系统密切联系的地图数据库支持下，才使高速查询成为可能。

(3) 大大提高了地图分析的灵活性，缩短了地图更新的周期　由于传统制图技术的特点，要更新一幅传统地图是很费时的，而地理信息系统可以直接从几种信息源输入数字信息，并可直接处理；同时，制图目标和比例尺也不再是障碍，最终还可以直接输出胶片，使发生变化的地图信息能得到及时更新；传统制图技术下的地图分析，要通过大量的计算和试验工作，得到的分析结果在很大程度上还受到操作人员技术、素质、专业水平等因素的影响。地理信息系统则在数学分析模型支持下，方便、快速、高效地解决地图分析应用的许多问题，并保证了客观性和准确性

(4) 扩大了地图的应用范围及研究领域　纸质地图仅可存放静止和有限的信息，而且还受人类视觉的限制；而地理信息系统能动态管理大量数据　因此，

地理信息系统的发展扩大了地图的应用范围，促进了地图信息的社会共享，也必然会拓宽地图学的研究领域

4.2 GIS数学模型与地图表示

GIS地学模型是在对系统所描述的具体对象与过程进行大量专业研究的基础上，总结出用来描述地学要素之间相互关系和客观规律信息的、语言的或数学及其他的表达方式 数学模型是应用数学的语言和工具，对部分现实世界的信息（现象、数据）加以翻译、归纳的产物，模型来源于现实，但又高于现实。数学模型经过演绎、推导，给出数学上的分析、预报、决策或控制，经过解释回到现实世界，然后，再经受实际的检验，证实模型分析的可靠性。GIS数学模型的建立虽然是数学或技术性的问题，但是，它必须以广泛、深入的专业研究为基础，专业知识的深入程度决定了所建模型的质量和效果；GIS模型利用的是系统中数量、来源和形式不同的数据，经过综合分析，取得更深层次的信息，换句话说，系统中数据的质量和数量影响了模型分析的效率和深度；GIS模型是客观世界中各种问题所依赖的规律或过程的抽象或模拟，能有效地帮助对各种问题的理解和解决；GIS中建立一定的数学模型有可能使得系统向更高技术水平的发展。所以说，GIS模型是地理信息系统的建立和解决实际问题的能力、效率及实际效益的关键所在，同时在地图表示和地图概括过程中，也为人们提供了更加便捷和客观的方法。以下介绍与地图表示和地图概括密切相关的模型中几种分析方法：

1. 主成分分析与地图表示

地理问题往往涉及大量相互关联的自然和社会要素，众多的要素常常给地图的表示带来很大困难，增加地图概括的复杂性。为使用户易于解决现有地图容量不足的问题，有必要减少某些数据而保留最必要的数据 由于地理变量中许多变量通常是相互关联的，就有可能按这些关联进行数学处理，从而达到简化所需表示地图数据的目的。主成分分析是通过数理统计分析，将众多要素的信息压缩表达为若干具有代表性的合成变量的有效的数学方法。

设有 n 个样本，p 个变量。将原始数据转换成一组新的特征值（主成分），主成分是原变量的线性组合且具有正交特征 即将 $x_1, x_2 \cdots x_p$ 组合成 $m(m<p)$ 个指标 $z_1, z_2 \cdots, z_m$，即：

$$
\begin{aligned}
z_1 &= l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + l_{13}x_3 + , \cdots, + l_{1p}x_p \\
z_2 &= l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + l_{23}x_3 + , \cdots, + l_{2p}x_p \\
&\cdots \\
z_m &= l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + l_{m3}x_3 + , \cdots, + l_{mp}x_p
\end{aligned}
$$

这样决定的综合指标 $z_1, z_2, \cdots, z_m$ 分别称做原指标的第1,第2,第3,第 m 主成分,z_1 在总方差中所占比例最大,其余成分的方差依次递减。在实际地图表示工作中,为了既能最小程度地利用数据量,又能充分地表示数据信息,往往采用前几个方差比例较大的主成分,简化指标间的关系。如为了研究某一地区气候、地表特征和地貌之间的关系,选取了57个流域盆地,并测量了9个要素:流域盆地总高差,流域盆地山口的海拔高度,流域盆地周长,河道总长度,河道总数,平均分叉率,河谷最大坡度,河源数,流域盆地面积。在有限的地图图面上要表示如此众多的要素,对制图者与读图者都是不利的。通过主成分分析,上述9个指标可以归结为三个主成分:第一主成分流域规模,第二主成分流域侵蚀状况,第三主成分河系形态,并分别以流域面积、流域山口的海拔高度、分叉率作为代表,然后就可以对原始数据进行分类后编制相应的类型图。

2. 聚类分析与地图表示

主成分分析使得量大而复杂的多变量数据适当压缩,但在地图表示中,要求地图表示方法尽量简单,表示内容尽量多,这样的表示才是最理想的地图表示。这就要求,数据处理分析要尽可能地减少数据的复杂度,甚至要将数据定义成一组多变量类别。聚类分析就是将一组数据点或变量,按照其在性质上的亲疏远近的程度进行分类,简言之,聚类分析就是将一组数据,相似的样本归为一类,而把差异大的区分开来。判别两组数据是相似还是不相似,就需要构造数据之间的相似性和差异性的统计量。在数理统计中有很多这样的方法可以利用,如欧氏距离、绝对值距离、马氏距离、切比雪夫距离等。以欧氏距离为例说明聚类分析的过程。

用 x_{ik} 表示第 i 个样本第 k 个指标的数据,x_{jk} 表示第 j 个样本第 k 个指标的数据,d_{ij} 表示第 i 个样本与第 j 个样本之间的距离,欧氏对距离的定义为:

$$d_{ij} = \{[\Sigma(X_{ik} - X_{jk})^2]/m\}^{1/2}$$

依次求出两组数据之间的距离 d_{ij} 后,形成一个距离矩阵:

$$D = (d_{ij}) = \begin{bmatrix} d_{11}\, d_{12} \cdots d_{1n} \\ d_{21}\, d_{22} \cdots d_{2n} \\ \cdots \\ d_{n1}\, d_{n2} \cdots d_{nn} \end{bmatrix}$$

在此基础上,根据最短距离法或最长距离法等各种聚类方法,将数据进行逐步归类,最后形成聚类分析谱系图。

在地图表示中,利用聚类分析的方法,可以很好地解决多项数据的表示问题。如在环境保护监测时,为反映噪声,往往记录有 L_{eq} 值、$L10$ 值、$L50$ 值、$L90$ 值等多项指标,而且每项指标有昼夜两个数据,在表示时,不可能把所有指标单

独地表示在地图中 现以上海市市区的环境噪声指标表示为例：

表 9－1 上海市中心城区 1994 年高空噪声监测指标

	L_{eq} 昼	L_{eq} 夜	聚类结果	L10 昼	L10 夜	L50 昼	L50 夜	L90 昼	L90 夜	聚类结果
普陀	55.9	48.7	1	57.8	51.1	52.3	46.9	48.8	44.[illegible]	1
卢湾	57.8	[illegible]	1	[illegible]	56.3	57.3	50.4	54.4	48.6	4
[illegible]	59.3	51.2	2	59.7	52.4	53.6	49.1	50.9	46.2	3
徐汇	59.5	52.3	2	61.2	54.1	55.3	49.4	51.9	46.9	3
闸北	60.0	51.9	2	61.7	53.5	57.6	49.8	55.0	47.9	3
南市	60.1	54.8	2	62.0	57.1	57.5	52.7	55.1	50.7	4
浦东	61.3	54.2	4	63.2	56.5	57.3	51.9	53.9	48.8	4
杨浦	61.5	55.3	4	63.2	57.6	58.7	52.9	56.2	50.2	4
虹口	62.1	50.7	3	68.8	52.7	59.3	48.3	55.4	46.4	3
黄浦	62.1	55.1	4	63.2	56.0	51.2	49.7	50.0	46.5	2
闵行	62.5	58.8	4	65.2	60.8	58.5	56.6	55.3	54.7	4
静安	62.8	47.9	3	65.8	50.1	59.3	46.3	55.9	43.8	3
长宁	63.5	56.8	4	63.8	58.5	56.7	50.2	52.9	46.2	4

最后在地图表示中，就把定量的数据转化成定性的表示，分别把分析得到的 4 类定义成安静、较安静、不安静、很不安静等 4 级，聚类结果与实际情况相符合 这样在表示中，既没有丢失数据的信息量，又简化了地图表示（图 9－10），其中左图根据 L_{eq} 值聚类分析而得，右图根据 L10、L50、L90 的值聚类分析而得。

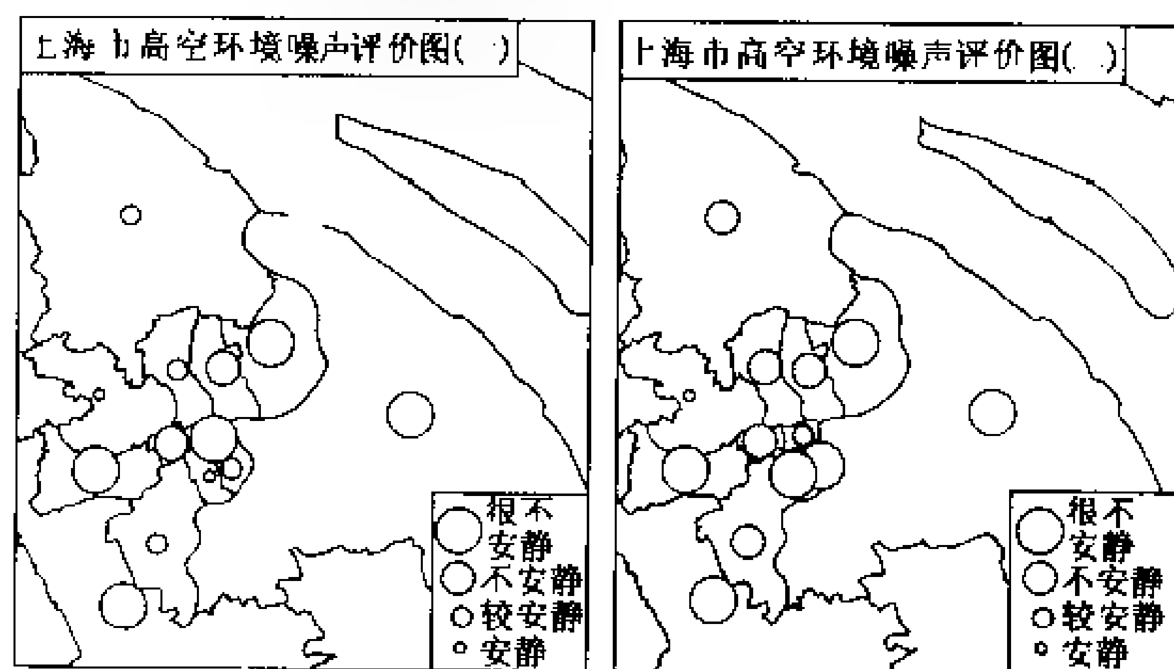


图 9－10 根据聚类分析的地图表示

3 判别分析与地图表示

判别分析与聚类分析同属分类问题，所不同的是，判别分析是预先根据理论与实践确定等级序列的因子标准，再将待分析的地理实体安排到序列的合理位置上的方法。判别分析根据判别类型的多少及方法的不同，可分为两类判别、多类判别和逐步判别等。

无论是何种判别方式，其思想方法都是一样的，首先根据已知的地理特征值进行线性组合，构造线性判别函数 Y，即

$$Y = C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3 + \cdots + C_mx_m = \sum C_kx_k$$

式中 $C_k(k=1,2,3,\cdots,m)$ 为判别系数。它反映各要素或特征值的作用方向、分辨能力和贡献率的大小。确定 C_k 的原则就是，使得任何类型内部的差异最小而类型之间的差异最大。

在地图概括过程中，往往有众多具有属性意义的要素需要分类表示，但又不是很明确哪些要素可以归结为一类，哪些要素又不能归结为一类的，在以往手工制图时，制图人员的素质、操作水平等个人因素往往影响了一幅地图的质量和效果。在 GIS 数学模型的帮助下，利用计算机的运算能力，使得判别结果变得客观、标准。如城市群中城市大小的分级问题，由于城市大小的判别因素很多，如人口、经济、区域等，即使是取具有代表性的数据指标，也会有 10～20 个，利用这些指标建立判别函数，就能简单地把城市群中所有城市客观地分为几类。

GIS 数学模型是数学分析方法在地学中的应用，有很多还处于试验阶段，有很多的根本还没有运用到地学分析中来。随着技术的发展和四维思维的拓宽，在地图表示和空间可视化的领域，将有越来越多的数学模型得到充分的发挥。

4.3 GIS 中的产品输出系统

GIS 产品是指经过系统处理、分析后，可以直接提供给研究、规划和决策人员使用的产品，其形式有地图、图像、统计图表以及各种形式的数字产品，其中地图是 GIS 产品中最主要的、也是最有特色的产品。地图是地理实体空间特征和属性特征经过符号化的模型，因此地图符号的丰富程度直接影响了 GIS 的表现效果。

1．地图符号系统的设计

在地图符号库的设计时，需遵循下列原则：

(1) 尽可能地符合国家规定的各种专题地图图式。为了地图的严肃性和通读性，必须保证符号在国家标准范围之内的统一。

(2) 遵循图案化、精确性、逻辑性、对比性、统一性、色彩象征性、制图和印刷可能性等一般原则。

(3) 符号库的可扩充性。不可能设计一个十分完美的符号库，但是可以设

计一个能对本系统扩充的符号库，在系统符号仍不能很好表示所要表示的地理实体信息时，允许用户扩充增加自行设计的符号，增加符号的丰富度。

地图符号库中符号的类型可分为矢量符号和图像符号两类。矢量符号从形态上来看，又有点状符号、线状符号、面状符号之分，分别可用于定位和注记。图像符号一般情况下只用于定位。图像定位符号在设计时较方便，但是在表示时就存在一些弊端，如不能随地图视野的改变而改变大小。

2．地图空间数据输出

在 GIS 系统分析处理后，地图空间数据一般有以下几种输出形式：

(1) 短暂显示输出　主要是指电子屏幕显示，如图形显示器、电子投影仪等。这是最普遍的地图输出方式。地理实体所具有的属性数据在经过分析后，用地图符号库中能切实反映实体特征的符号，再显示在屏幕上。

(2) 永久保存输出　这类输出形式较多，有打印输出、绘图仪绘制成图、胶片制版、数据格式转换输出等。

打印输出和绘图仪绘制成图　是较常用的一种输出形式。在屏幕显示的范围内，一般均可以所见即所得的打印在打印机上或绘制在绘图仪上。所得到的纸质地图可以作为输出成果永久保存；

胶片制版　是在大量需求的时候才使用的一种输出方式，同样可以在屏幕上进行有目的的选择之后，输出到制版系统，最后利用制成的软片输送到印刷车间，进行大批量的地图复制和生产。

数据格式转换输出　这是适应信息共享而应具备的一种输出功能。信息时代的一个特征就是实现数据和信息在社会中的通讯或共享，GIS 之间数据的交换和共享，目的就是有效地使用地理数据资源和合理地进行数据服务，使各系统中不断增加的数据不仅被数据的拥有者使用，而且要被更多的用户在不同的系统中使用，不断促进地理信息事业的发展。在数据转换的各种形式中，其中屏幕硬拷贝是最普遍的一种。

3．地图非空间数据输出

对于非空间数据特别是属性数据，可用统计图形式将这些信息很好地传递给用户。这种输出方式直观，容易被用户理解和接受。其主要形式有柱状图、扇形图、直方图、折线图和散点图等。

还有一种方式，就是统计表格的方式。这种方式不直观，但是，它表示详尽，可对数据进行再处理，而且还可以被转换成其他系统可接受的数据格式，对于数据共享很有利。

本章提要

地理信息系统由硬件、软件、数据和操作者四部分组成。目前地理信息系统有三种不同的类型：即综合性的、区域性的和专题性的地理信息系统。

地理信息系统脱胎于地图，发展于机助制图，与地图学有密切的关系。

专业化与大众化地理信息系统软件产品繁多、功能强大、应用广泛。

空间分析功能是地理信息系统的核心。在时空上可以简单地分为二维分析、三维分析和四维分析等。在二维地图实际应用上有量度分析、缓冲区分析、包含分析和网络分析。

地理数学模型是数学在地学中的实际应用，也是GIS分析地理现象的有力工具。在地图表示和地图分析中，地理数学模型中聚类分析、主成分分析、判别分析在地图表示和概括中发挥着不可忽视的作用。

地图输出是GIS中与其他系统交流和分析成果的主要形式。

复习与思考题

1. 什么叫地理信息系统？它由哪几部分组成？
2. 地理信息系统通常需要哪些设备？
3. 地理信息系统的功能有哪些？试以某GIS软件为例说明。
4. 什么叫空间分析？简述几种空间分析的方法。
5. 简述地理信息系统与地图学的关系。
6. 简述地理信息系统的发展对地图学的影响。

参考文献

1 张超等.地理信息系统概论.北京:高等教育出版社,1995

2 郭达志等.地理信息系统基础与应用.北京:煤炭工业出版社,1997

3 马建文等.地理信息系统及资源信息综合.北京:地质出版社,1994

4 祝国瑞等.地图分析.北京:测绘出版社,1994

5 郭仁忠.空间分析.武汉:武汉测绘科技大学出版社,1997

6 邬伦等.地理信息系统教程.北京:北京大学出版社,1994

7 梁启章,GIS和计算机制图,北京:科学出版社,1995

8 黄杏元等.地理信息系统概论.北京:高等教育出版社,1989

9 中国地理信息系统协会.中国地理信息系统协会首届年会论文集.北京:1995

10 ARC/INFO中国技术咨询与培训中心.ARC/INFO地理信息系统初级教程.北京:1994

第 10 章

地 图 复 制

我国作为世界的文明古国，指南针、造纸 印刷术和火药是具有代表性的四大发明。其中，相传在公元 105 年由蔡伦发明的造纸术以及 11 世纪中叶（北宋年间）毕升发明的活字印刷术，是复制技术中关键性的创造

地图是地理信息传递过程中的载体，在地理信息的传输链中，无论是地图的编制者还是使用者，都要求将地图作品形成大量高质量的复制品。从古到今不断创造、变革的各种复制方法：从手工到手工与机械，又发展为光化学与机械，直至现代的电子技术与机械，都是各时代科技条件下追求完美的地图作品所使用的复制技术。

印刷是复制的主要手段，包括原稿、印刷版、承印物、印刷油墨及印刷机械五大组成部分。完整的印刷过程，就是将地图原稿分为印刷要素与空白要素两大部分后，将印刷要素转移到印刷版，用印刷油墨、通过印刷机械，最后出现在承印物的过程。

目前通行的印刷方式有凸版、凹版、平版及孔版四大类。其中，根据印刷版面上印刷要素与空白要素的相对位置，版面印刷部分（有图文要素）高于空白部分的为凸版印刷，低于空白部分的为凹版印刷，处于同一平面的为平版印刷。

地图制作是一项复杂的工艺过程。地图的设计者与制印者应相互了解对方的工作内容及特点，把地图的设计 编制 印刷作为形成地图作品不可分割的过程，才能获取质量高、成本低、周期快的复制品

§1 地图复制方法的发展

1.1 传统复制方法

地图复制具有成图工艺复杂，要求精度和质量高的特点。目前，地图复制绝大部分运用平版印刷，有时在特殊需求下，也用丝网或其他简易的复制方法。

1．平版印刷的工艺过程

采用平版印刷地图的工艺程序包括:制版前准备、复照、拷贝、修版、晒版、打样与审校,最后进行印刷及印刷的后期工序。

(1) 制版前准备 进入制版工序前,应做好出版原图的检查及制印工艺的设计。出版原图是制作大量地图成品的基础,因此,必须检查是否忠实于作者原图的设计,并在内容与形式等各方面符合印刷与出版的要求。

出版原图按照制作的材料、色彩、版数、形式、与原图的比例关系等,分为许多种。如按照版数,就可以有把全部要素集中在一块版上的一版清绘原图及按要素或按色彩分别表示的多版原图。

对出版原图的检查有:图廓尺寸、图面的整洁情况、线划的黑度及粗细、刻图线划的均匀透明、注记的粘贴、普染色的准确完整等(图10-1)。

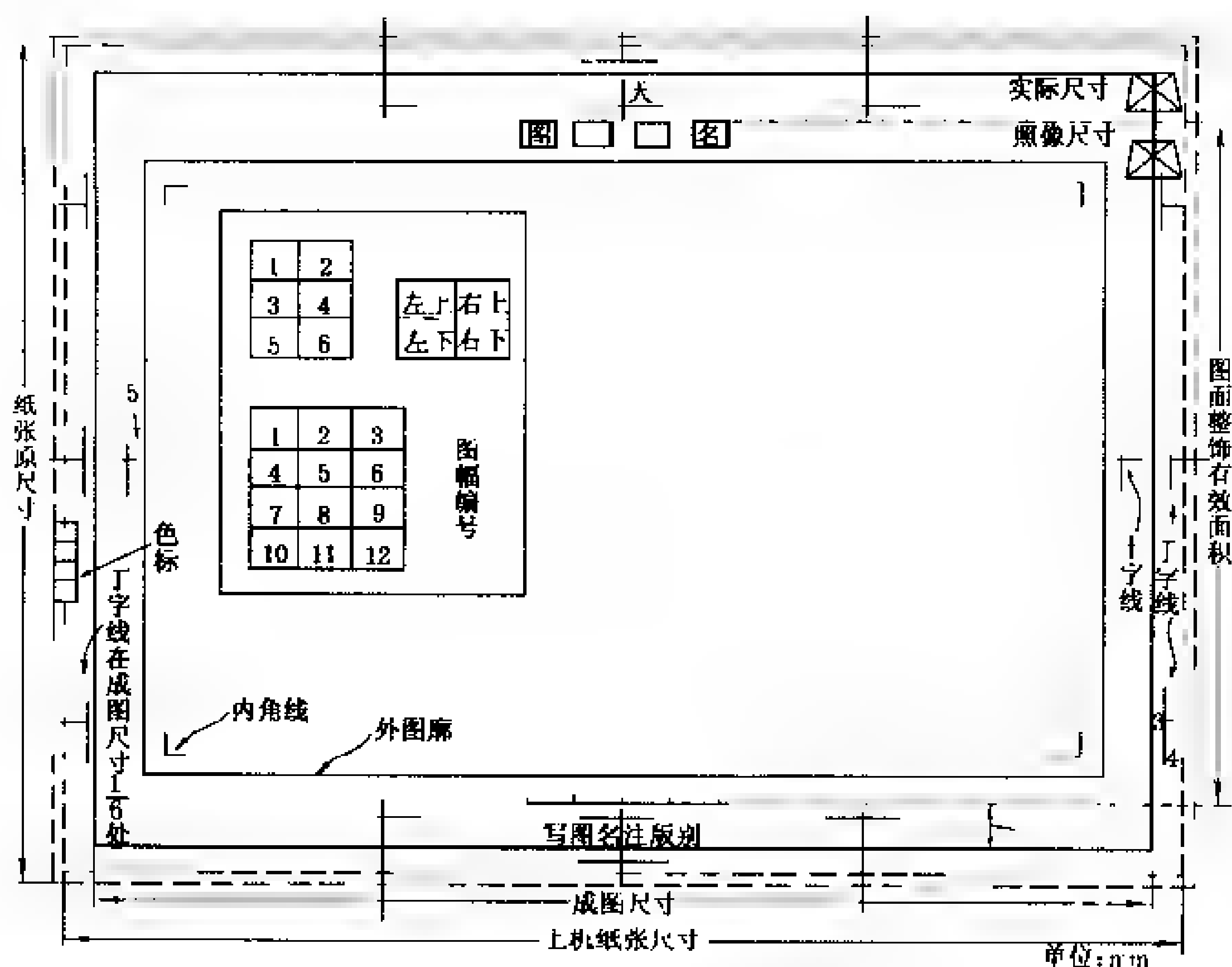


图10-1 出版原图规格示意

(2) 复照与拷贝 将出版原图经过专用的摄制设备,获得符合印刷尺寸、可供制版用的图形或影像底片的工序称地图复照。

地图复照的专用摄制设备包括复照仪及其附属设备、感光材料、制作连续色调影像的网目屏、制作彩色分色用的滤色片等。

多色地图是用不同的色版套合在同一承印物上形成的。由于必须套合准确,因此不同的色版应具有同一块母版。在地图制印生产中,把出版原图经过复

照所获得的底版分别制作成多色印刷所需要底片的过程称为底片复制，也称拷贝（或翻版）。

早期的复制是以玻璃为版基，以铬胶为主要感光剂，称为湿版翻拷工艺。尽管成本低，但劳动强度大，重金属污染环境的问题十分突出，现在基本上已经被以聚酯薄膜为片基、以银盐乳剂为感光层的干版拷贝工艺所替代。拷贝的专用设备是拷贝机，也可借用复照仪完成。拷贝所用的感光片可分为：能实现异像复制的负性拷贝片，实现正像复制的正性拷贝片（即：阳片仍拷成阳片，或阴像的刻图膜仍拷成阴片）；还有一种重氮感光撕膜片，专用于制作地图中呈面状分布图形的普染版。

拷贝的目的是为了制作分色版。用复照底片或刻绘原图的方法，可以复制出多种形式的若干底片，其中包括正、反阴片和阳片（图10－2），供修版时使用。

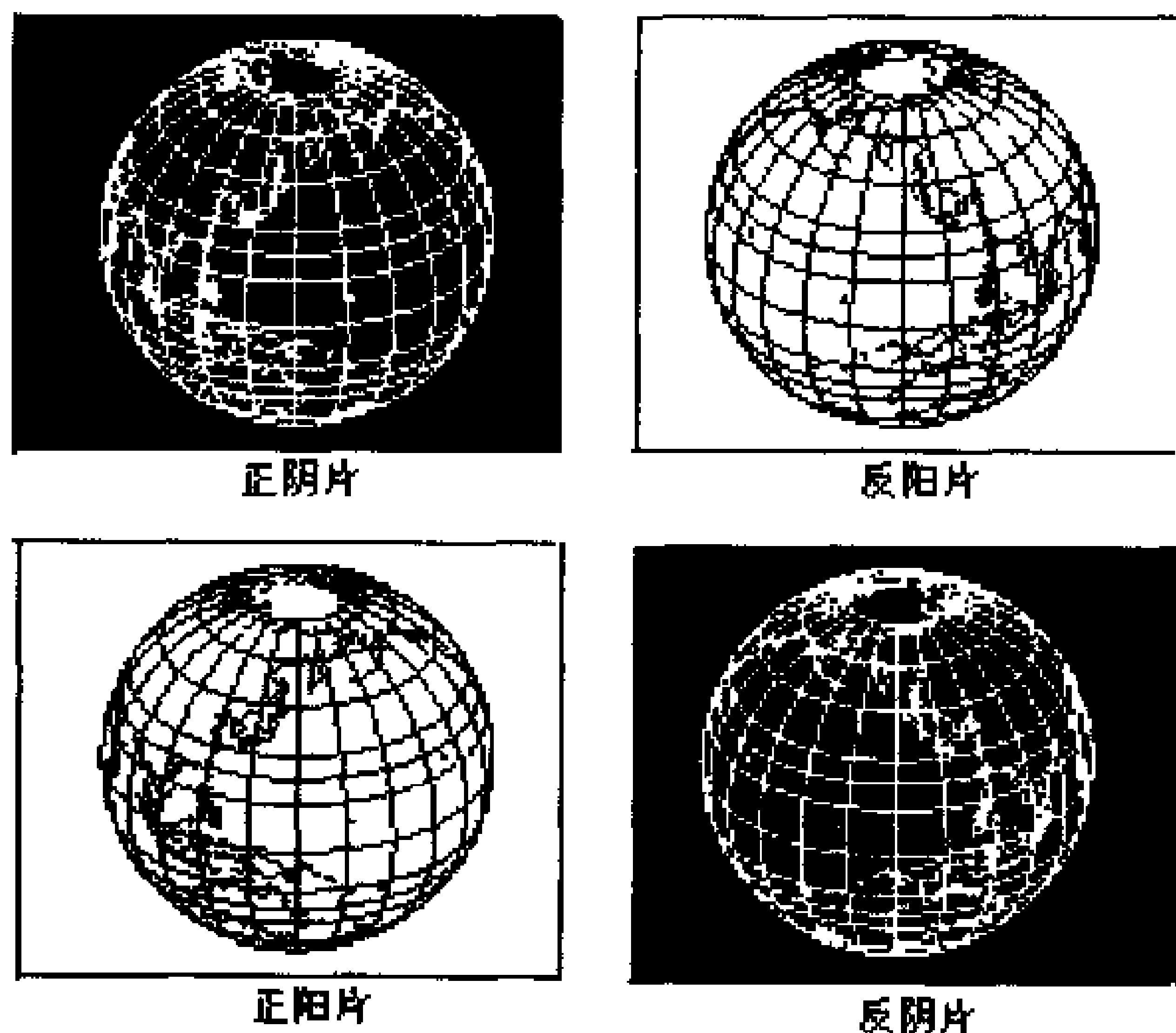


图10－2　经复照、拷贝生成的各种底片

（3）修版与套拷　修版包括消除由拷贝所获底片中各种缺陷、不足，以及对底版的分色分涂两方面工作。

对底版的分色分涂，就是将底版上有两种以上不同色表示的地图要素，用修涂的方法只保留同一色的要素，去除其他色的过程。这道工序传统上完全由手工操作完成，工作量大，极易出错。自从以干版代替湿版翻拷工艺后，大部已被刻图工艺所代替。

底片中的缺陷与不足，主要指各种斑点、划痕以及线条断开、不通，或灰雾不

清等。可根据不同情况，对阴片或阳片采取涂盖、修刮、填补等方法予以消除。

修版后的各种阴像底片齐全后，就可实施套拷，就是把属于同一色的不同百分比密度的阴像普染版、线划版、注记版，通过拷贝机（或复照仪）逐一精确定位在同一张感光胶片上进行拷贝，最终获得黄、红、蓝、黑四张阳像胶片（图10-3）。

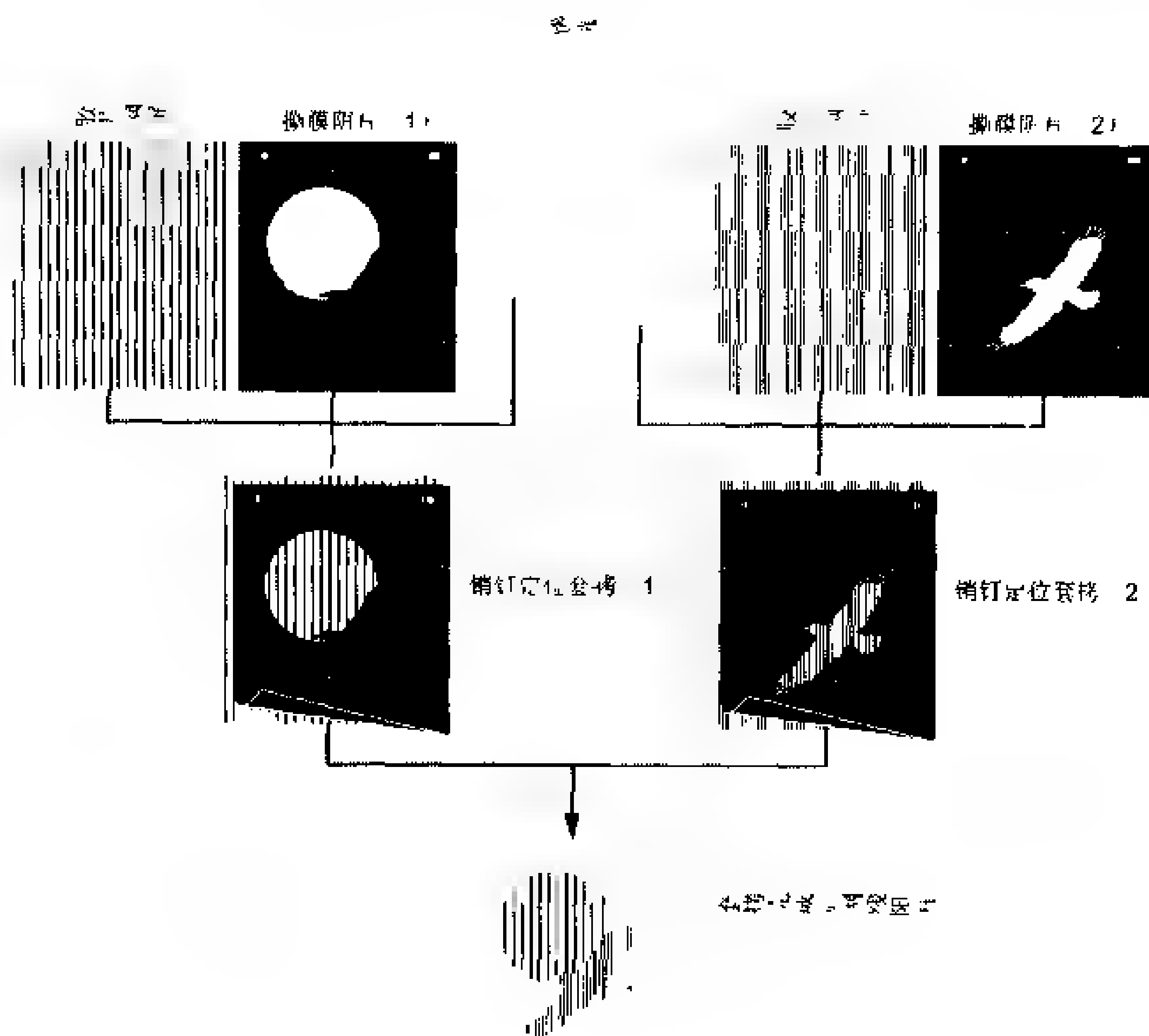


图10-3 套拷过程

(4) 晒版 把胶片上的图形、文字转移到供印刷用的金属版材上的工艺称晒版。目前最常用的金属版材是预涂感光版，即PS版。将透明胶片与PS版在晒版机上迭合，通过常规的晒版工艺，即得到图文部分具有亲油特性、空白部分具有亲水特性的印刷版。

(5) 打样与校核 打样是制版程序中的最后一道工序。从出版原图开始到制成各色印刷版，每道工序都有可能出现缺点或问题，这在单色底版上要完全查清是困难的。因此，应在正式付印前通过打样获得彩色及其他类型的样图。打样为编图者提供了检查图面整体效果、进行审校的依据，也为制印者在印刷时对成品应达到的色彩要求提供了依据。

地图校核就是根据样图，与原稿进行核对，以检查在内容上有无错、漏，色彩是否符合设计要求，注记及线划的规格、精度是否符合出版规定。发现问题，立即查明原因：如色彩有误，就应检查各相关色版的百分比与角度是否正确；如注记与主要图形要素、专题符号产生重叠，就应作合理移位；如出现内容上的错、漏，还得检查原始资料及资料处理是否有误。对所有问题，都应在样图的四周或合适的位置一一标注清楚。

校样的改正，应针对样图上问题的原因及性质，寻找最有效、合理的修改方法，逐一进行修改，必要时甚至要重新制版。重要的地图或地图集，在条件许可时，还会作第二次或更多次的打样，以保证成图质量。

(6) 印刷及印后工序　印刷是把校核后的印刷版，通过印刷机械及专用油墨转印到承印物的过程。

地图基本上都是通过平印取得的，而平印方法中，绝大多数又是通过胶印机进行印刷的。

在胶印过程中，印刷版上的图文部分被涂上规定颜色的油墨，空白部分则被水浸润，然后通过一次橡皮胶布转印，把胶皮上的图文印在纸张等承印物上，获得这一种色彩的图形。多色地图需通过几次不同色版在同一纸张上的重复压印，最终套合成一张精美的地图。

2 丝网印刷

丝网印刷是孔版印刷中应用最广泛的一种。其基本原理为：把感光乳剂涂布在紧绷了网框的丝网上，用感光的方法堵塞非图文部分的网孔而形成印刷膜版，再使油墨在刮刀的刮动下，从图文部分的网孔漏印到承印物，获得所需的印迹而成印品。丝网印刷与其他印刷方法相比，具有墨层厚，对承印物有广泛适应性，设备、工艺较简单等特点。广告、织物、艺术品、标牌等经常采用该工艺，但如应用于地图制印，由于地图作品要求色彩丰富，需制作数十块印刷膜版，成本高，套印也不易准确，有一定局限。目前已研究成功适用于丝印的四色制印工艺，可得到色彩丰富多样、立体感强、套印准确的大幅面挂图，是胶印的补充复制手段。

3. 简易复制

晒图法是地图复制中一种简易的方法。原理是将某些有感光性能的物质涂布在纸上或聚酯薄膜上，成为感光材料，然后把透明的原图与之压实接触，在一定光源照射下曝光，经过显影得到成图。感光材料上涂布的物质主要有铁盐、银盐、重氮化合物等。不同性能的感光材料需要不同的透明原图，如阴像或阳像。晒图可采用不同的光源，如日光、紫外线光源，不同的显影方法，如可浸在显影液中，或在氨气筒中熏晒，所得到图像的色彩也不相同，有黑、蓝、棕等。使用的晒图工具可以是晒图机，最简便的则是做个木制框架，内衬绒布，表面配上玻璃即可。这样的地图产品虽只是单色的，图形、线划及注记的质量均不及平版印刷的地图，保存时间太久后，影像还会褪色，但如仅复制数量不多、要求不太高、时间保存也不必太久的地图，则它所具有的快速、低成本优势仍使之成为一种较好的复制方法，被用于复制某些工作底图或自编教材的插图，在复制工程图、建筑图、机械零件图等方面更被广泛应用。

1.2 电子出版印前系统

1. 电子分色

20世纪50年代电子分色机问世。运用电子分色机,可直接将彩色原稿通过电子分色扫描,获得黄、品红、青、黑四色底片。这种底片已经具有各种彩色应用的网点百分比及角度,因此可以直接晒制成印刷版,上机印刷成产品。

2. 电子出版印前系统

电子出版系统形成于20世纪80年代后期,它的出现是出版领域一次重大的变革。随着硬件及软件系统的不断完善,已经形成完全不同于传统方法的制印工艺,形成了地图编制与地图制印的一体化。

电子出版系统(简称EPS,Electronic Pressing System),也称桌面出版系统(DTP)。利用EPS制作地图有三个步骤:输入、编辑处理和输出。系统主要包括硬件及软件,硬件设备主要有主机、扫描仪、跟踪数字化仪,以彩色打印机及绘图仪作为输出设备。系统的软件专业化水平较高(随后详述)。

(1) 输入阶段 以编绘原图作为地图编制的信息源,利用扫描仪或数字化仪将原图输入计算机。如计算机编图人员具有较高的地图专业素质,甚至作者原图也可作为输入的信息源,但后期处理的工作量较大。此外,地理信息系统、遥感系统、地图数据库的数据,也是高质量的地图信息源,可直接输入主机供存贮、处理。

(2) 编辑处理 经输入后的各类地图数据及图形,在主机或工作站的支持下,调用各种编辑处理软件进行工作。常用的各类软件有:

图形处理软件 主要用于进行图形的编辑、处理、排版等工作,是制作地图的主要软件。目前,我国的MapCAD及方正智绘、美国Corel公司的Corel Draw软件等已被广泛应用。由于现有的各种国外图形处理软件,大多不具备汉化功能,因此,在我国使用的EPS中,必须具有汉字系统的支持,才能实现对汉字的各种处理。

图像处理软件 主要用于对图像进行色彩校正、填涂、图像变形以及图像的多种特殊效果处理。Photoshop是目前流行较广的一种。

(3) 输出阶段 将经过编辑、处理、排版后的图形,在屏幕上进行分块及整体检查,在彩色喷出设备上输出彩色样稿,确认没有错误、已全面达到设计要求,就可送至激光照排机上输出四色分色胶片,然后经过常规的晒版、印刷工序,得到地图产品。

运用EPS制作地图,成本低于传统的制印方法,并且减轻劳动强度,减少环境污染,缩短制图周期。而最突出的则是易于修改、检查,图形变化丰富,线划及

注记精细、美观,全面提高了地图产品的质量

3. 地图计算机直接制版系统(CCTP)

也可以称地图脱机直接制版。经过EPS对图形的编辑、处理后,将地图数据直接扫描输出到印刷版上,通过印刷机印刷地图。它比以前的工艺省去了传统的输出软片、修版、晒版等过程,进一步改善了环境,避免了各工序转换过程中可能产生的错误及误差,更便于地图资料的存贮、更新,更进一步缩短了成图周期。它以计算机完成编图—制版—印刷的一体化,比EPS制作地图的自动化程度又前进了一步,是一种极有潜力与发展前景的制印新工艺。

CTP工艺目前急需解决的问题是如何将计算机中已经编辑、处理好的地图数据,准确、高质量地转移到适合于胶印机作业的印刷版上。近年来,已经研制了感光性印刷版、激光无水胶印版、普通激光转印版等多种版材进行试验作生产。

§2 地图生产及出版的管理

2.1 影响地图生产成本的几个主要因素

大多数情况下,地图设计的目的,是为了将原稿以一定的形式复制后,进入流通领域。因此,不但要精心设计、精心制作,还要尽可能降低制作成本。

影响地图产品生产成本的因素主要包括:

(1) 地图或图集的技术参数 参数的确定取决于地图编制的目的、用途、使用对象及内容。不适当地提高纸张规格、增加色彩数、放大地图开本、增加印数、追求豪华的装帧,都会提高地图成本。如中学生地图集,印数很大,为了教学的需要,也应是彩色的,但不必选择克数较重的纸张,开本不宜超过16开,应采用四色印刷、不增加专色,尽可能采用骑马订及简装封面的装帧形式。

(2) 地图内容及图型设计 选择地图或地图集必须表示的内容进行编制,不追求地图内容的"大而全"。特别对地图集编制,精选图幅的数量、适当增加每幅地图上的内容负载量,不仅是高质量地图设计的要求,也降低了地图成本。在地图集顺序安排上,也要尽可能不采用文字与地图分页单排的方式,避免出现空白页,图面设计可采用不留图幅边框的"出血"图型以及主图与副图、主图与其他图表、不同比例尺地图的合理配置等,以提高有效成图面积百分比。

(3) 制作程序 从所编地图的目的要求,设计及制印人员的专业素质,编图及制印的设备条件等,综合考虑出科学、合理的编图及制印工艺方案。如制版工

序，目前仍有不少擅长于传统方法的专业人员，在保证质量及工期的前提下，应尽量发挥他们的特长。还可采用传统与计算机制版相结合的工序。即使以传统方法制版，也应采用经济、合理的操作流程，这样不但节省材料、加快周期、提高工效，也提高了成图质量。

2.2 地图审校

地图是科学作品，不少内容还涉及政策及法规上的问题，必须通过反复细致的审校，把各类错误消除在正式付印之前。

地图审校的主要依据是已形成文件的各种有关法规和规范，还包括地图学的基本理论与方法，有时也包括一些长期形成、约定俗成的规定。

地图审校的部门有设计及生产单位、出版单位、政府有关部门三方面。

设计及生产单位的审校包括从地图资料收集处理直至印刷的全过程，每一道工序的自校、前后工序的互校、上级部门的审校及验收。

出版单位的审校主要包括对与出版事宜有关的工序进行质量把关。应根据地图的性质与需要，确定进入审校程序的时机。

政府有关部门的审校包括：测绘管理部门对涉及测绘法规、规范的地图资料、内容、精度以及各类境界线的审校与验收；地名管理部门对各类地名的审校与验收。凡涉及重大政治问题，如国界线，陆地、岛屿、水域的归属等，必要时还应送政府主管部门审批。

2.3 地图著作权

我国实施《著作权法》已有多年。地图、示意图等图形作品是正式列入著作权的范畴，受《著作权法》保护的科学作品。地图著作权的执行，是地图出版管理工作中重要的环节。地图著作权不受侵犯，既体现了法律的严肃性，也促进了地图作品设计、生产的有序及健康发展，对开拓地图产品、活跃地图市场有重要作用。

受著作权保护的各类地图作品，必须是由作者经过创造性劳动完成的成果。地图的制作过程十分复杂，即使是最简单的地图，也不可能由个人独自完成。但可以被认定为拥有地图作品著作权的，在一般情况下只能是直接参与设计、编制的作者（或作者群体）。

基础资料与地理底图的提供者，如不继续参加地图的设计与编制，不能属于作者。地图的专业制印及出版人员也不属于作者。但作者应对这些环节做出有偿使用

认定地图作品有没有侵权或被侵权行为是个较困难的问题。正确执行"著作权"的基本条件，作为一种独立成果，应当能提出资料及地理底图获取的来源，由作者经过创造性思维形成有特色的设计书，各种解析图、设计图、编程图，以及图型设计方案及样图。

地图作品在目前情况下，多数是完成本单位所指定的任务。作者从本单位取得资料、设备以及其他为地图设计与编制所必须的支持，属于职务发明。这类作品整体的著作权归本单位所有，但作者本人享有在作品上的署名权。根据在编制地图过程中所负的具体责任及付出劳动的性质，作者可以有主编、副主编、主要编制者等不同的署名方法。

本章提要

地图复制是地图成图的最后一道工序，是一项复杂的工艺过程。

地图复制最主要、最常见的手段是通过印刷获得大批量的复制品。平版印刷是目前进行地图复制的主要手段。传统的地图制印包括制版及印刷两大部分，制版包括对出版原图的复照、拷贝、修改、晒版、打样与审校等工序。每道工序都有特定的专业内容。

地图复制已由传统的方法发生重大变革，主要表现在电子分色及地图电子出版印前系统已在生产中得到日益广泛的应用。

作为地图设计人员，对地图生产、出版管理以及地图著作权问题，都应有相当的重视及了解。

复习思考题

1. 几种印刷方式的主要区别是什么？
2. 为什么地图设计者与制印者必须相互了解对方的工作内容及特点？
3. 试述地图制版的主要过程。
4. 为什么地图正式印刷之前必须经过打样这道工序？
5. 地图电子出版印前系统的主要设备及工作流程是什么？
6. 地图编制的目的、用途、使用对象及内容，对决定地图主要技术参数的作用是什么？
7. 讨论地图著作权有什么重要意义？

参 考 文 献

1 陆权，喻沧主编．地图制图参考手册．北京：测绘出版社，1988

2 A Ⅱ 萨利谢夫等. 地图学原理(第五版). 北京:测绘出版社,1989

3 J S 基茨. 地图设计与生产. 北京:测绘出版社,1983

4 金瓘乐等. 地图学. 北京:高等教育出版社,1987

5 武汉测绘科技大学《地图制印》编写组. 地图制印(第二版). 北京:测绘出版社,1996

6 方炳炎. 论地图著作权的认定与保护. 地图,总第 36 期,1995.3

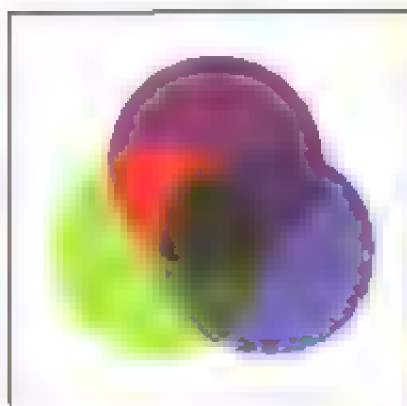
7 梁印邦. 也谈地图作品著作权. 地图,总第 37 期,1995.6

8 M Greenwald 等. 图像信息交换:从设计到制作. 北京:中国水利水电出版社,1998

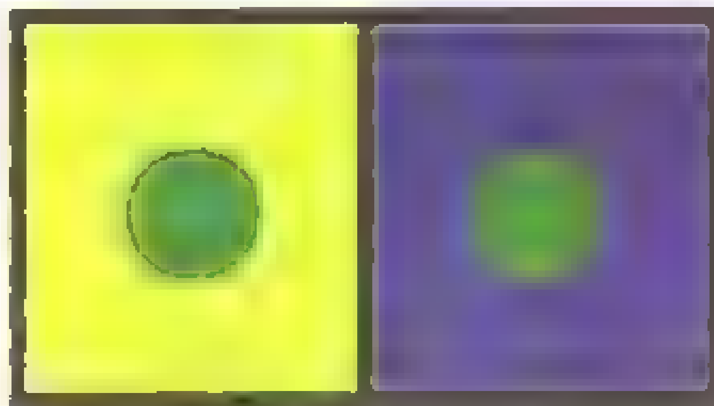




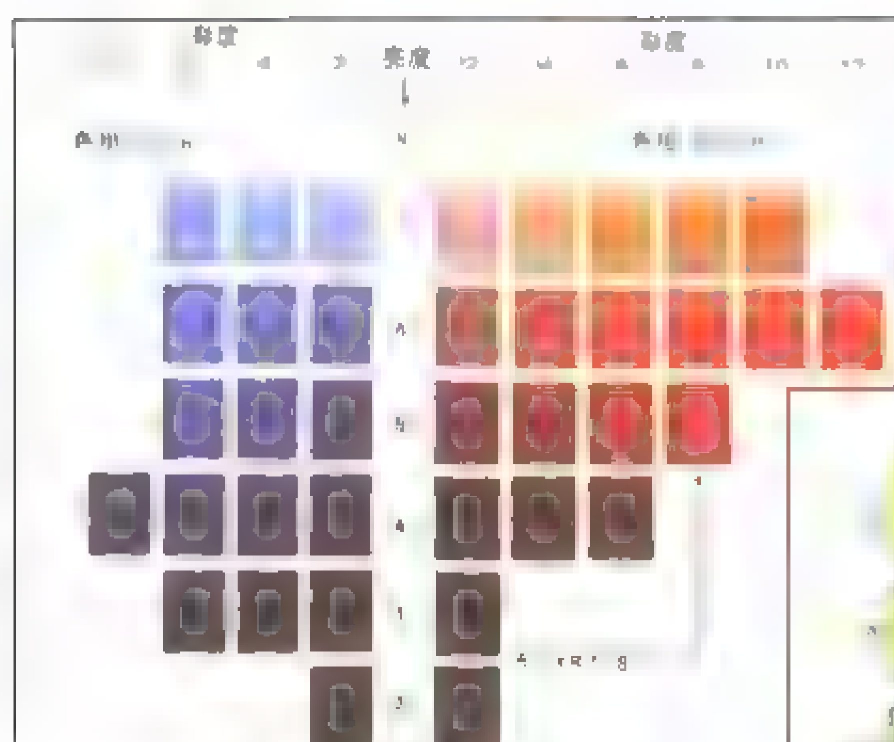
彩图4－2 三原色及加色法



彩图4－3 减色法



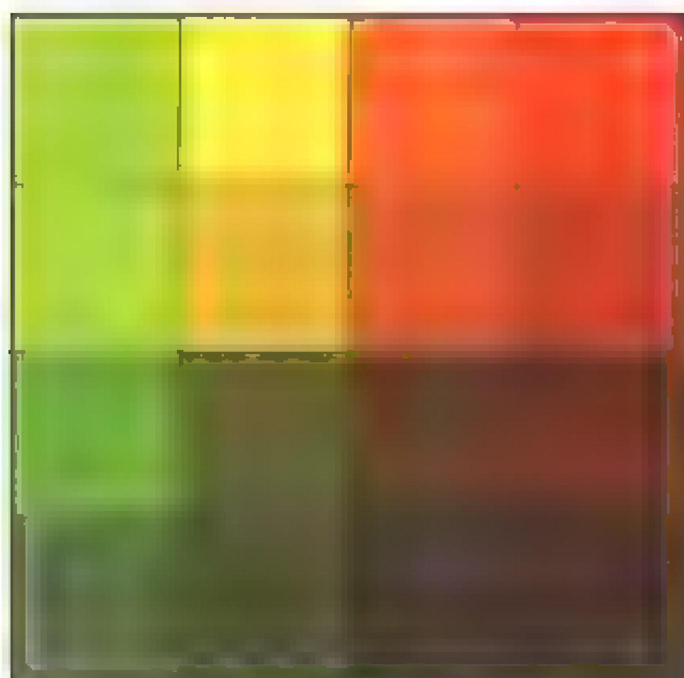
彩图4－4 亮度的对比



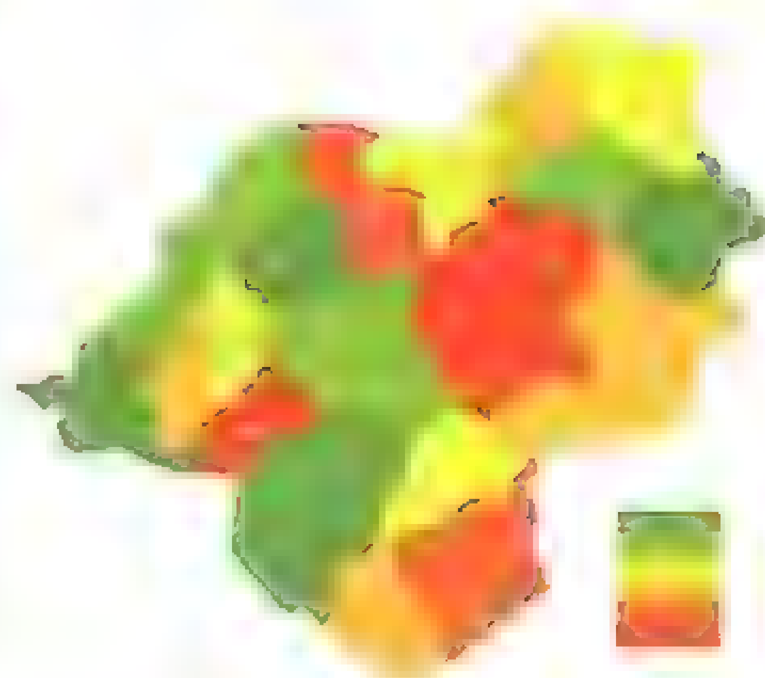
◀ 彩图4－5 亮度和彩度的尺度



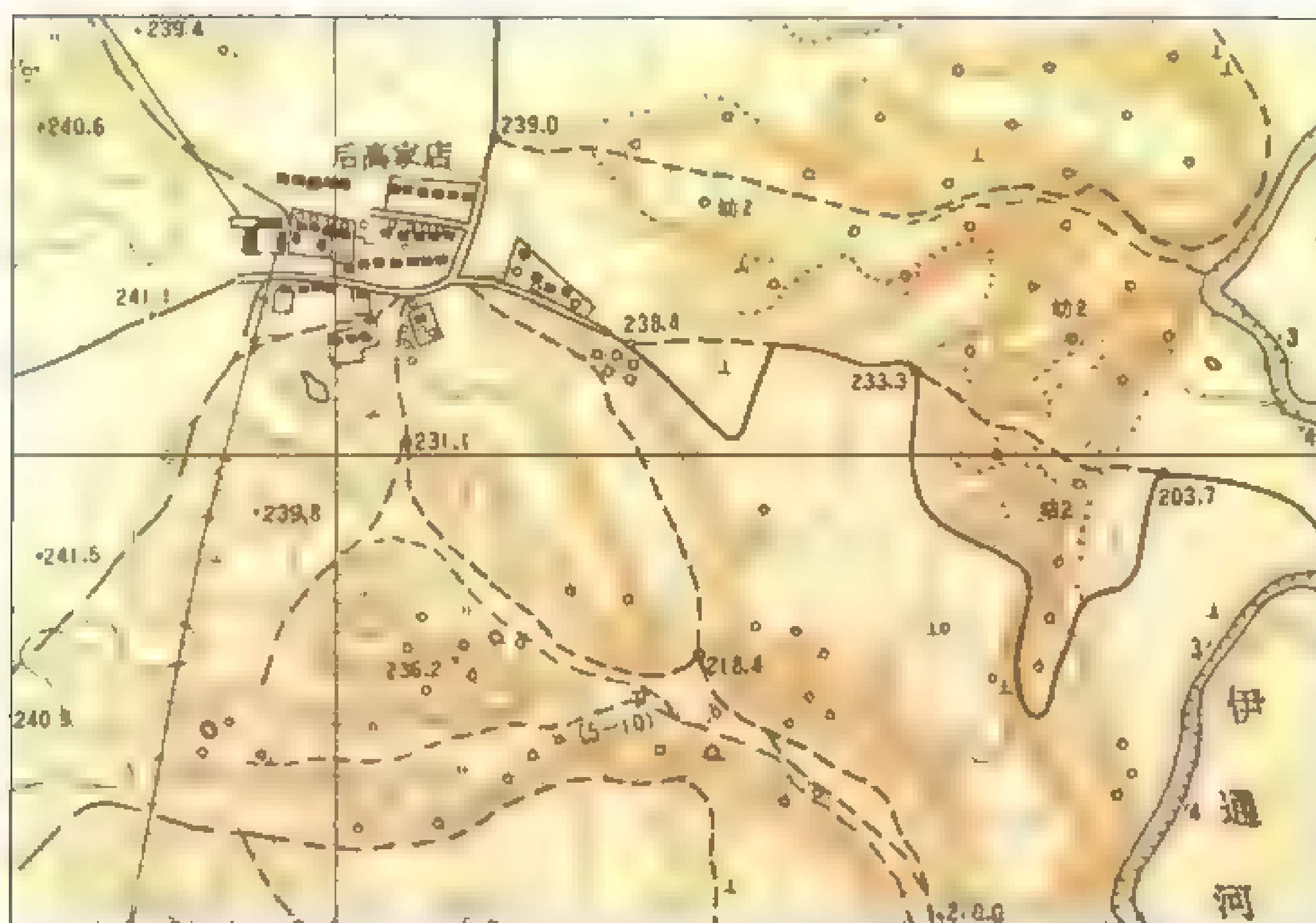
▶ 彩图4－6 印刷出的色谱



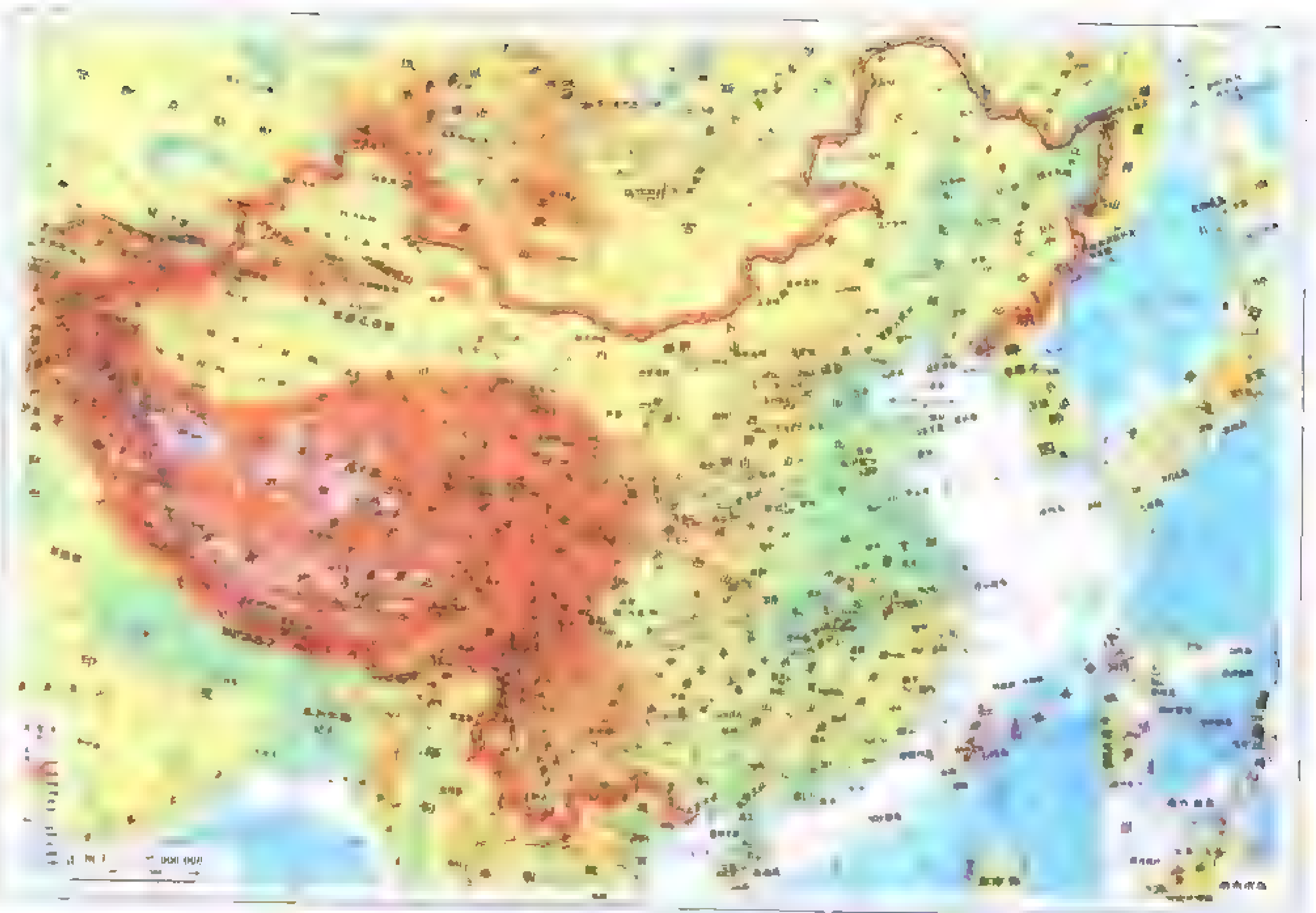
彩图 5－1　双项变量的图解特征

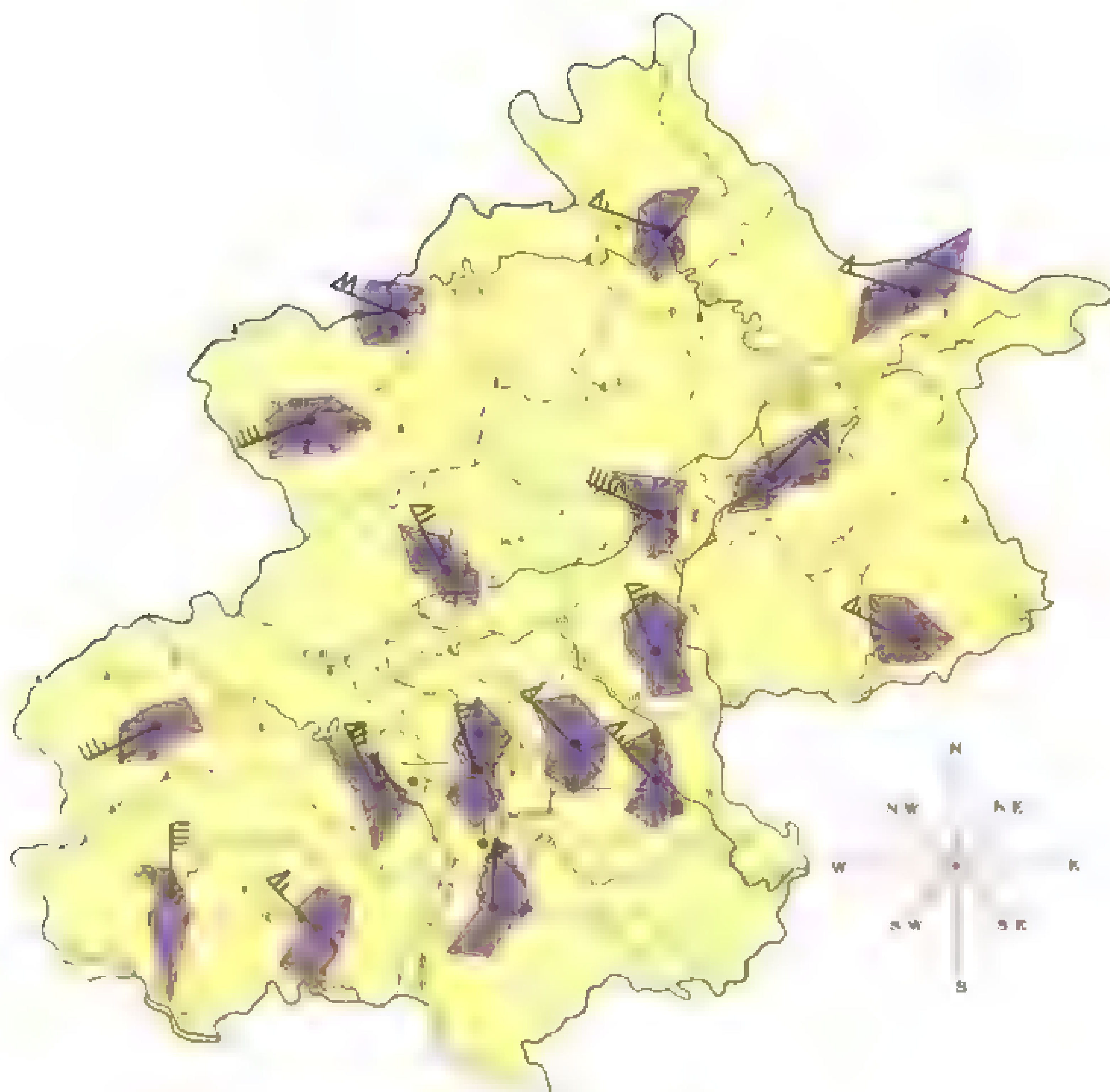


彩图 5－2　某县大豆、油菜的生产指标

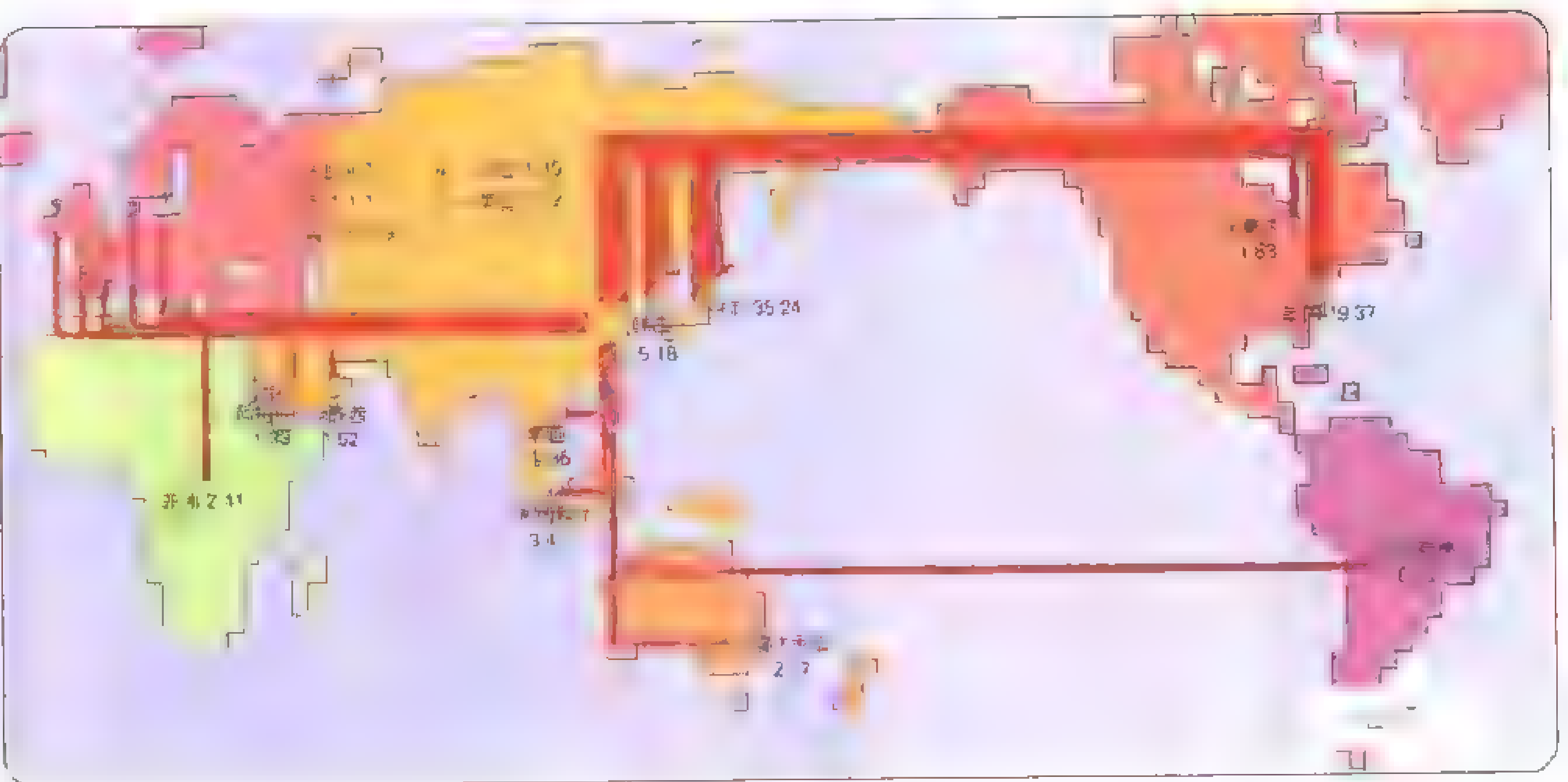


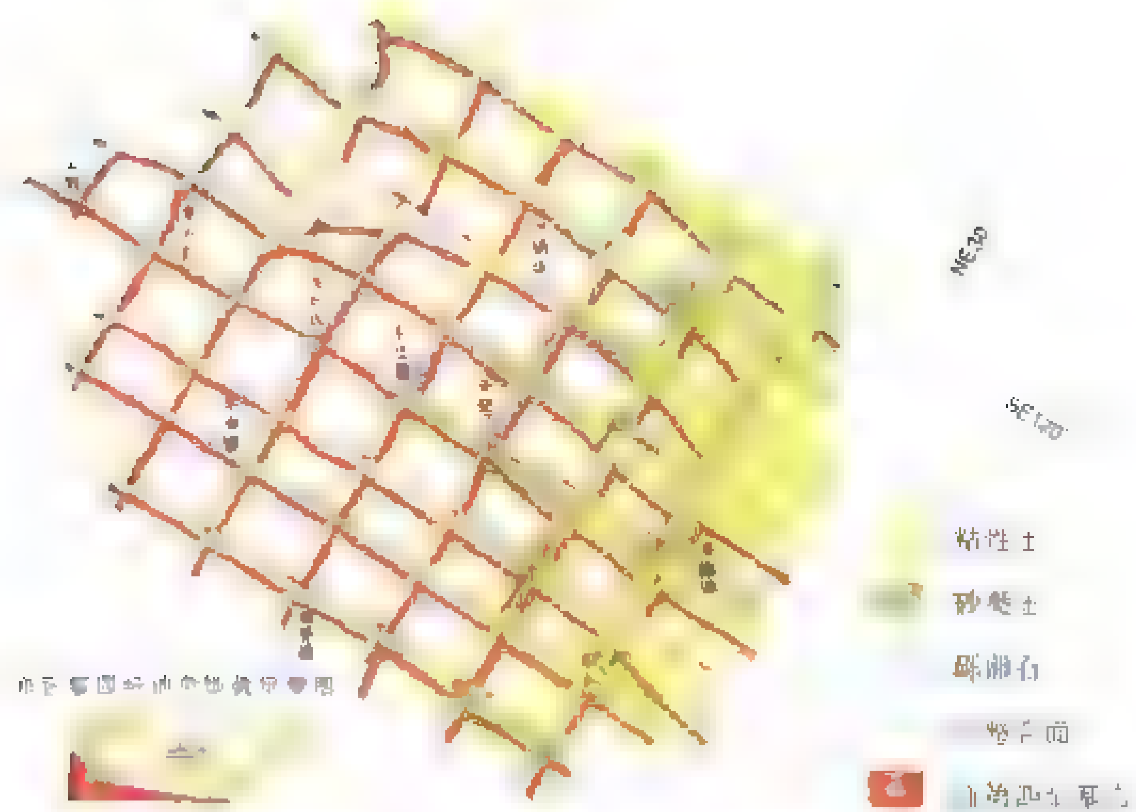
彩图 6－1　1∶1 万地形图样图



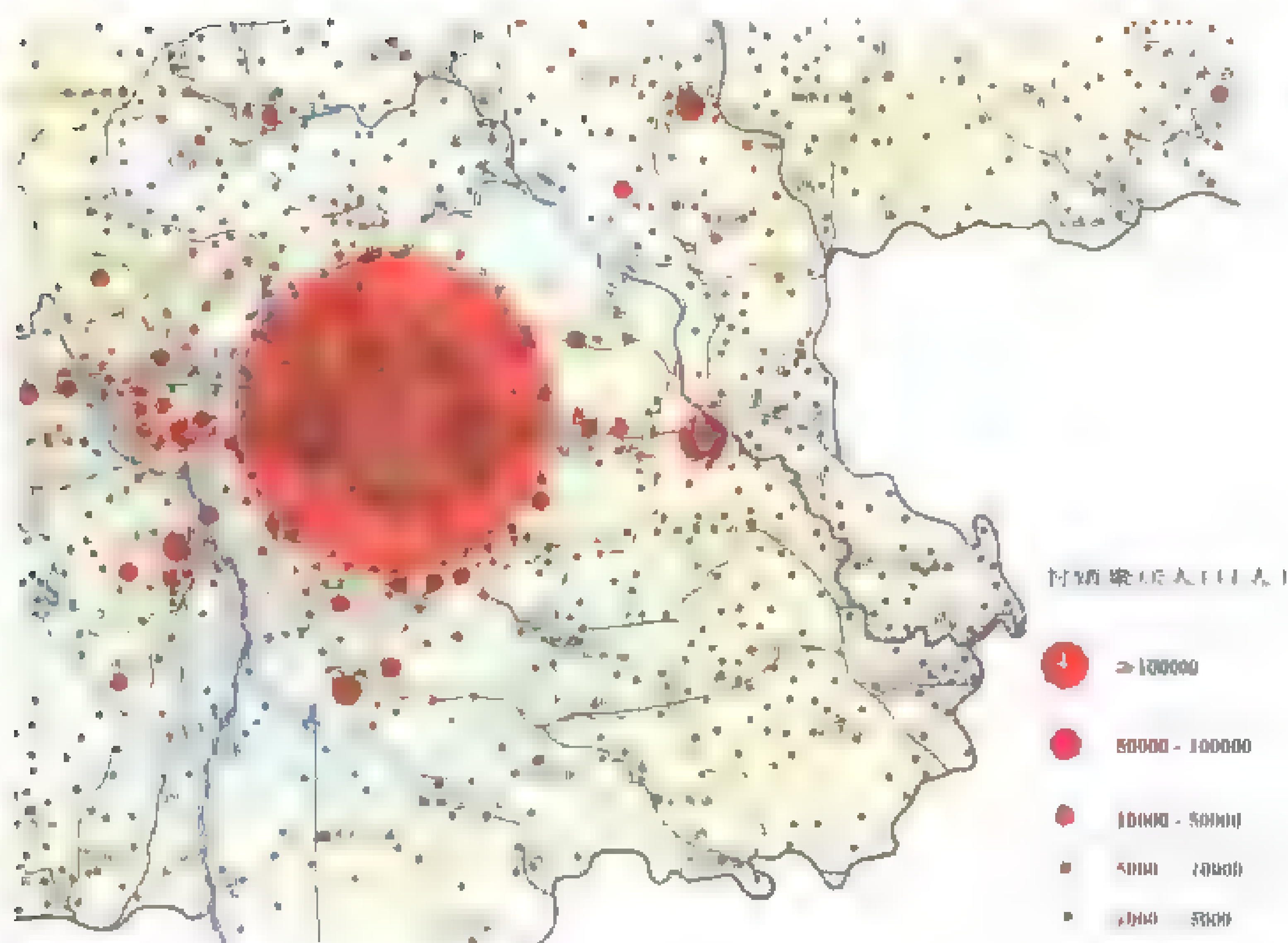

N
NW
NE
W
E
SW
SE
S

1995年上海市对外贸易主要进、出口国家及地区

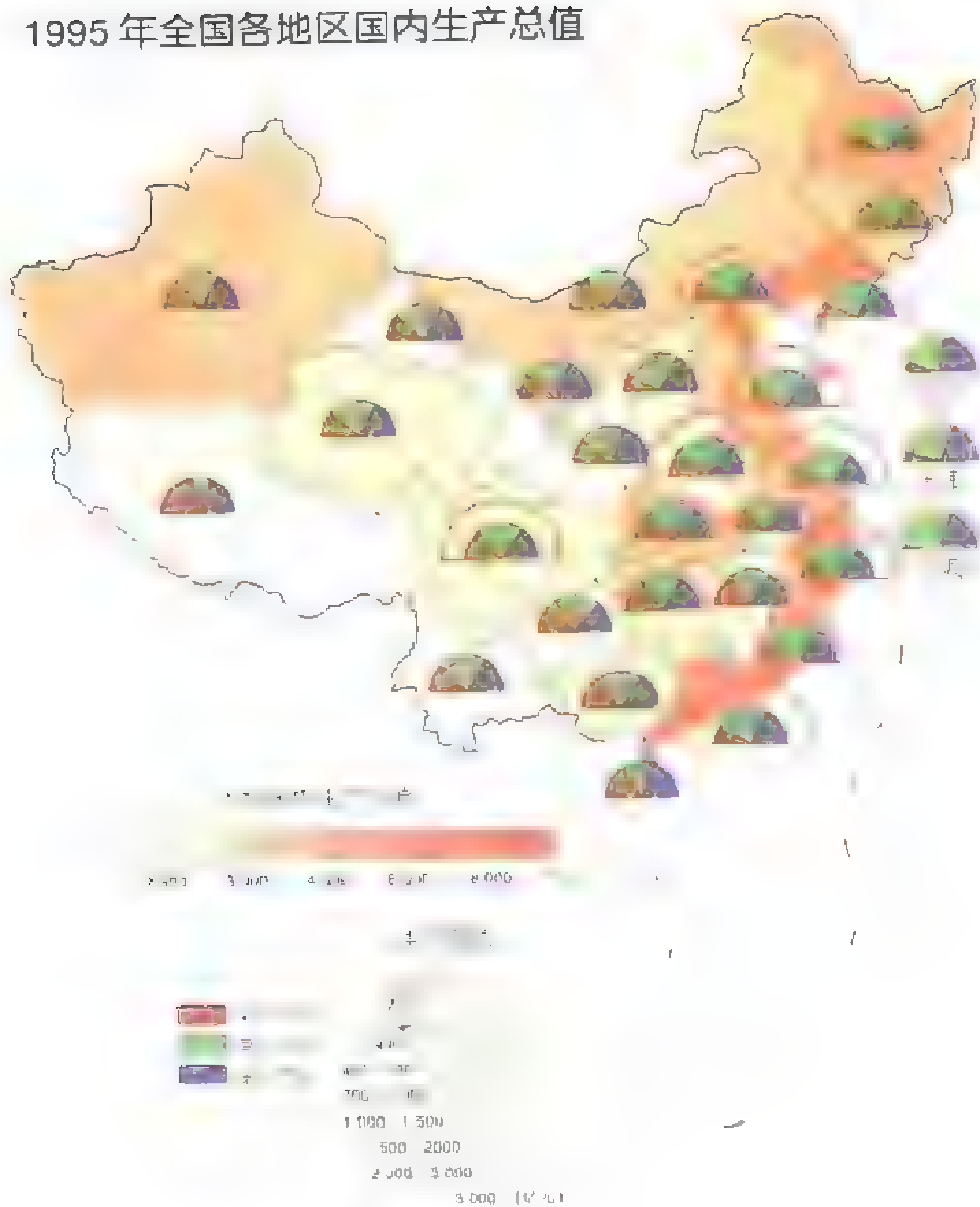




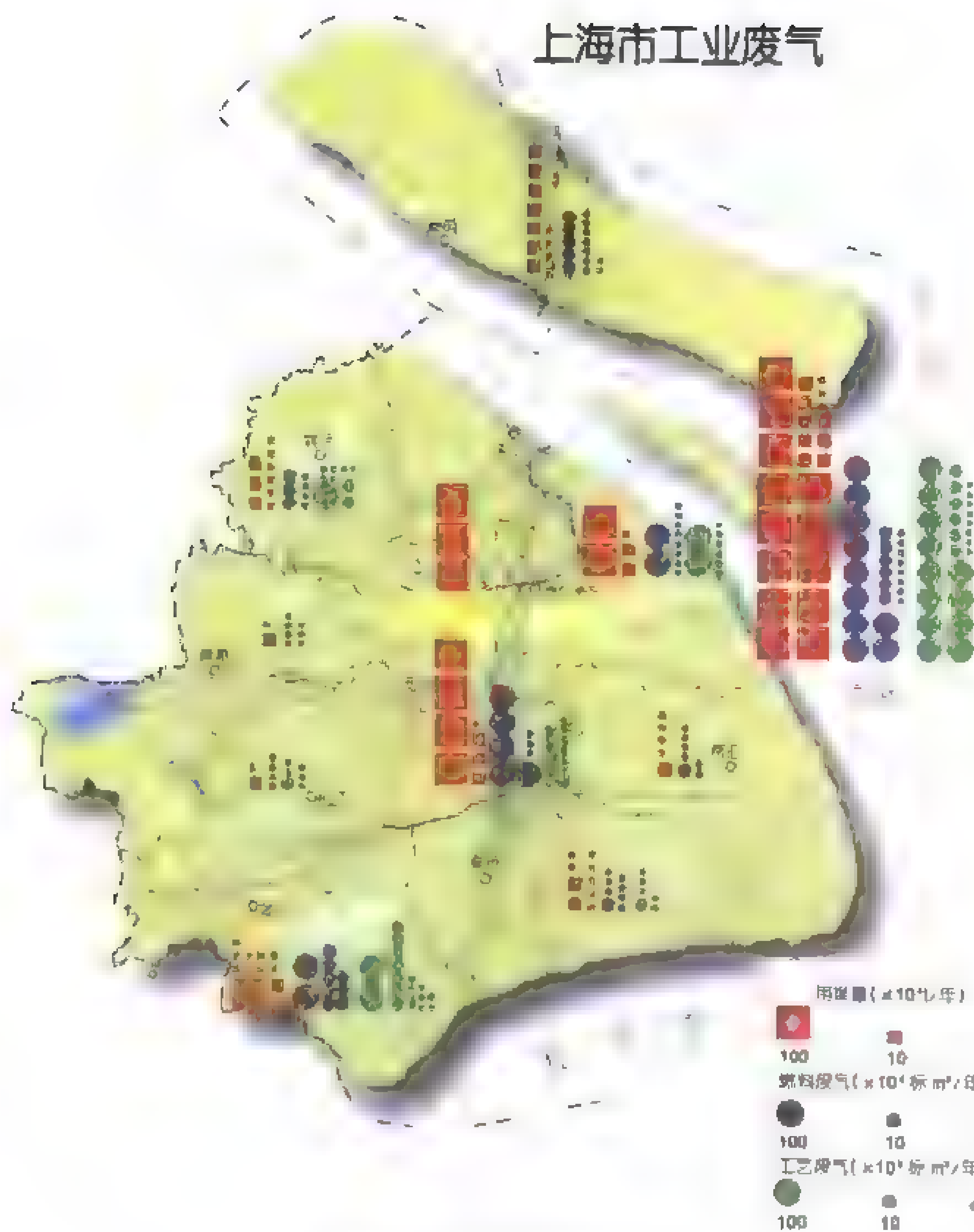
彩图 6－5 工程地质图——块状图



彩图 6－6 北京市人口密度图(局部)



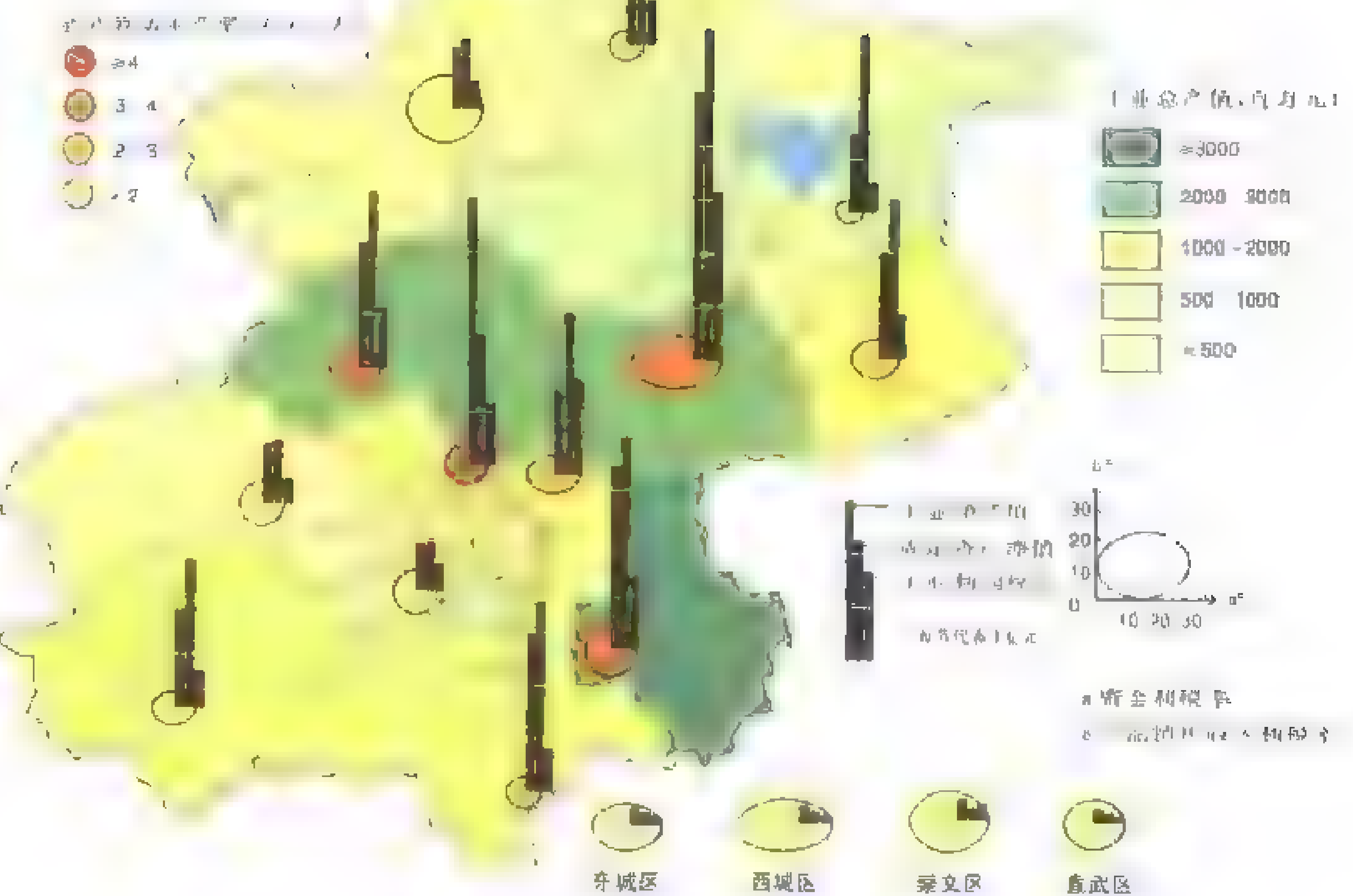
彩图6 7 [illegible]



彩图6－8 环境污染现状地图



彩图 6－9 分析图——北京冬季降水图



彩图 6－10　组合图（Ⅰ）——北京市工业区

每格代表500头牛

每格代表100万公斤牛奶

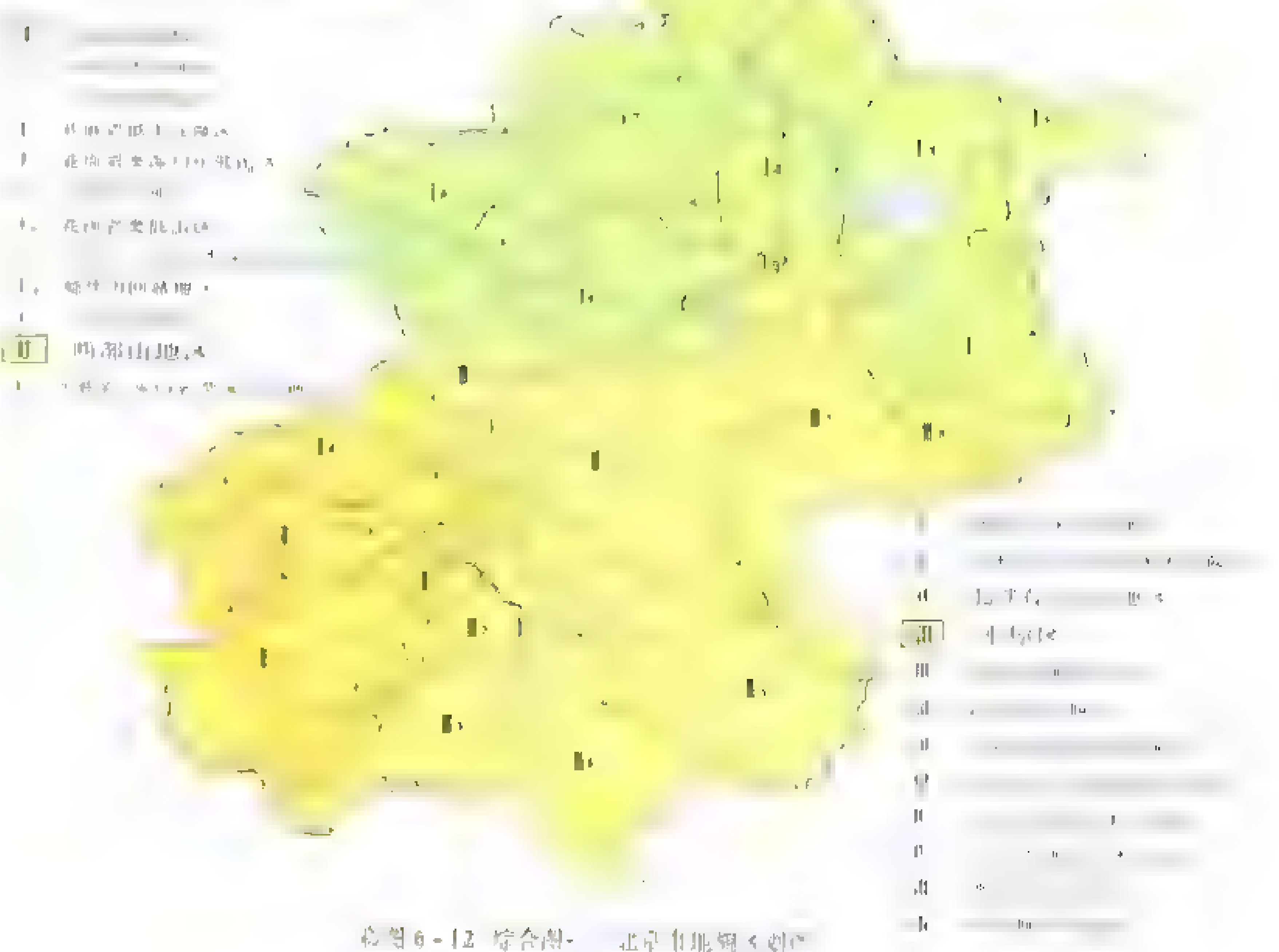
每格代表1000头猪

每格代表160000公斤鲜果

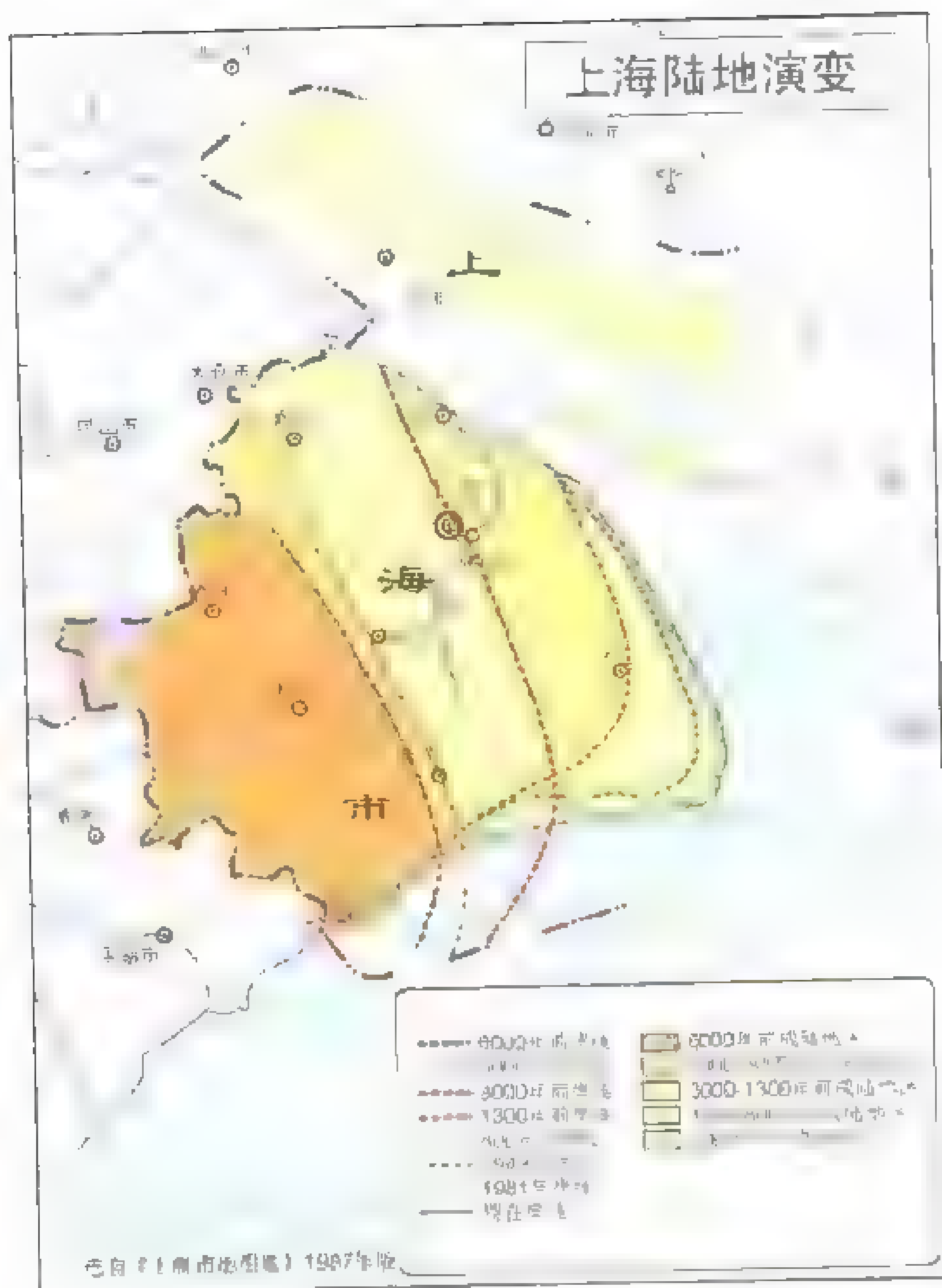
以副食品生产为主的农场

以果品生产为主的农场

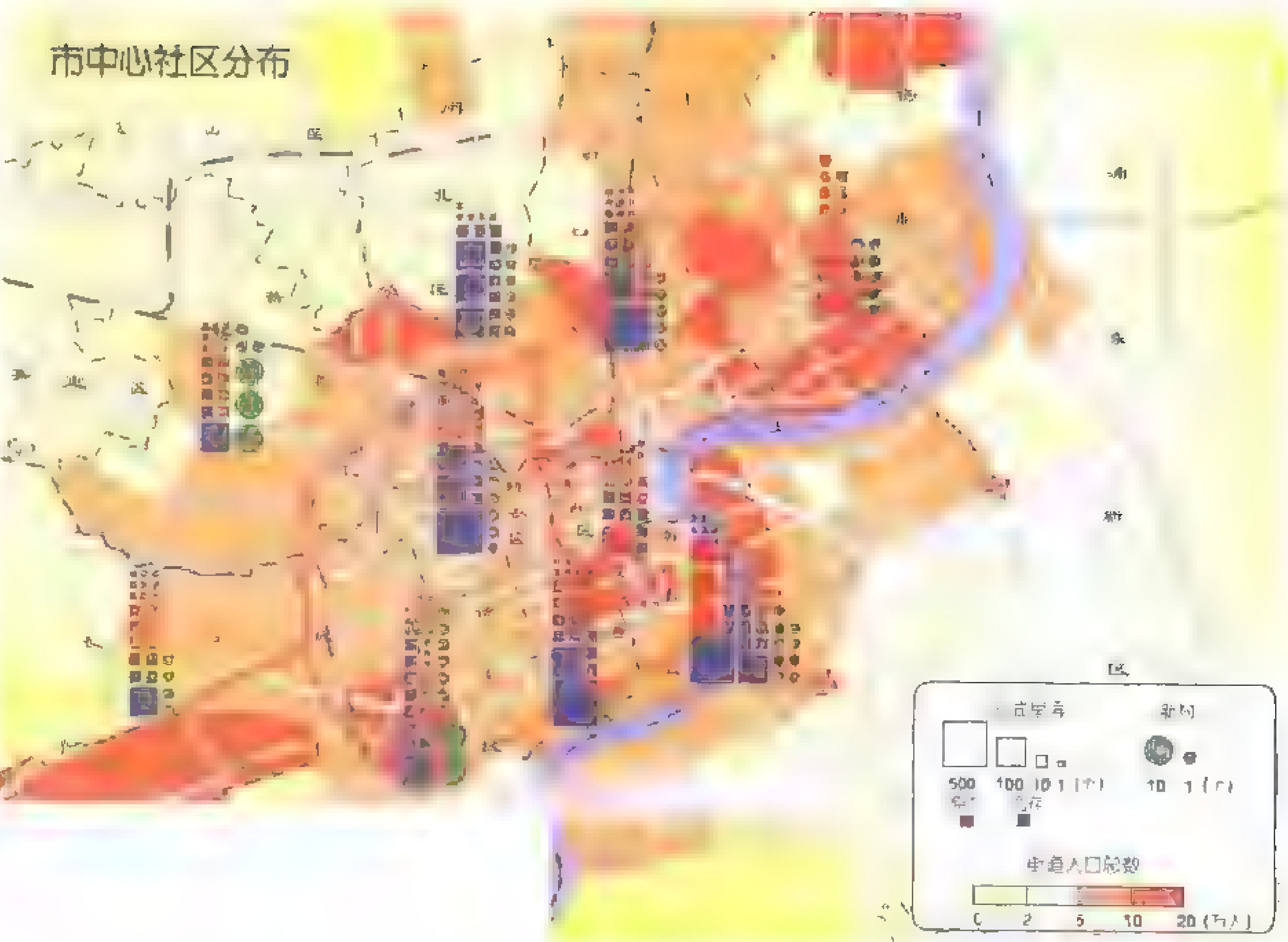
彩图5－11 组合图Ⅲ——北京市国营农场现状图(局部)



彩图6-12 综合图——北京市地貌区划



案例四-13 动态变化的表示

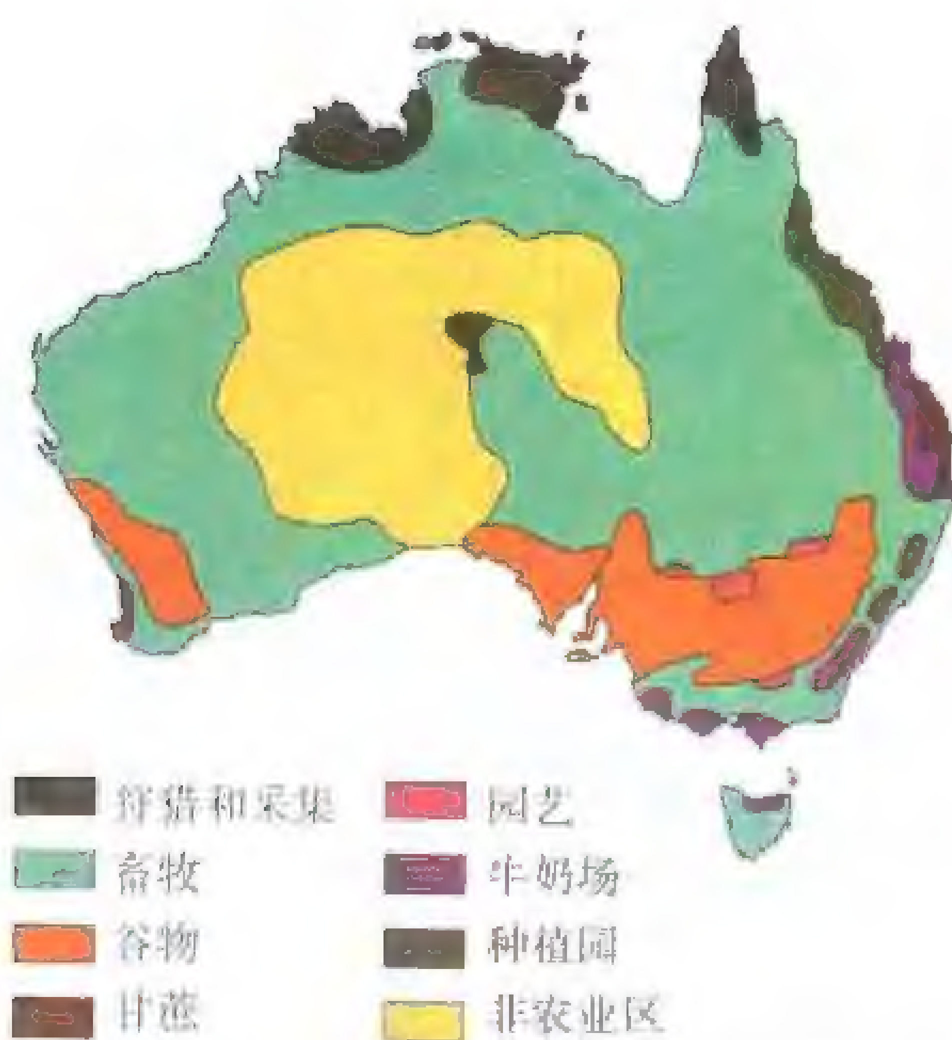


彩图 6-14 图面与图例符号一致(点状)

上海市各区、县农业总产值及构成



彩图5-15 多种指标的图例系统



彩图 6-16 色相差异表示光照现象的质量差异



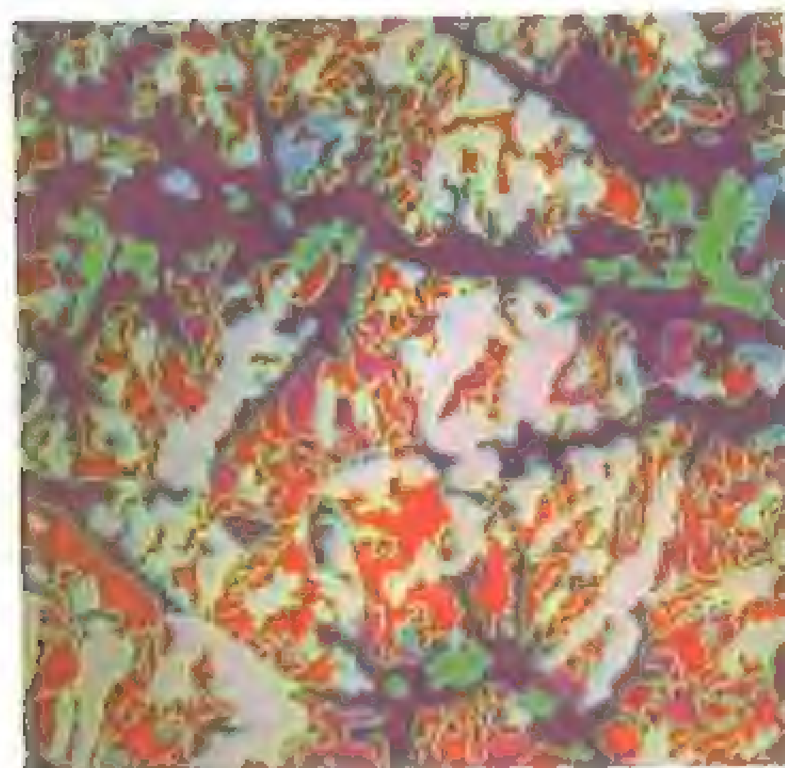
彩图 7-1 基于知识分类的结果
（1994 年数据）
品红——耕地 暗品红——菜地
亮绿——园地
墨绿——林地 棕色——建成区
黄棕色——开拓地



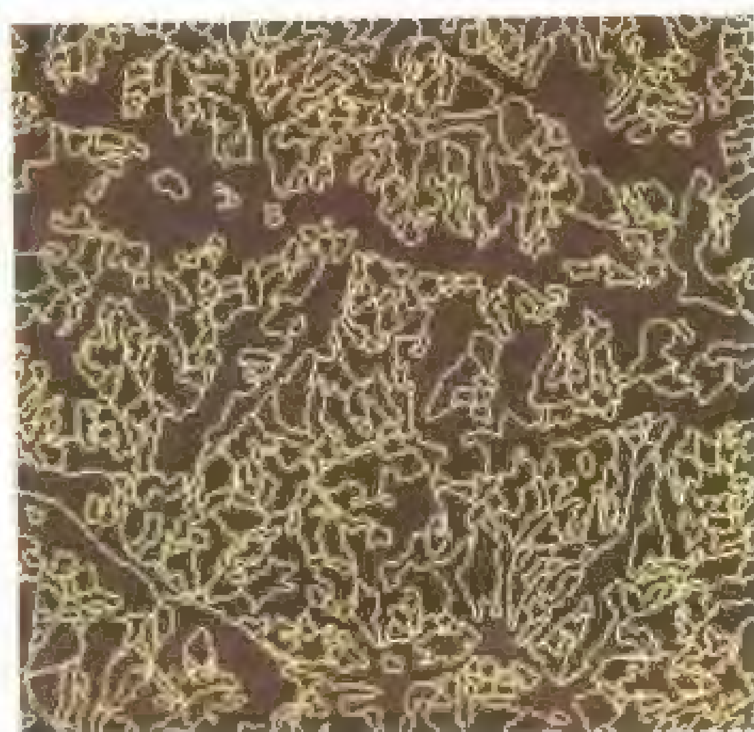
彩图 7-2 按 1:5 万底图进行图斑概括的结果



彩图 7－3 按 1∶10 万成图进行图斑概括的结果



彩图 7－4 经过细化的栅格转换为矢量的图斑界线



彩图 7－5 图像矢量化的结果



彩色样



全要素清绘









分色清绘

彩图 10－1 C、M、Y、B 各单色样

[General Information]
□□=□□□□□□□
□□=
□□=331
SS□=0
□□□□=
Vss□=78967199